العين والشمس

تأليف:

س. فافيلون

ترجمة

د. عطية عبد السلام عاشور

مراجعة

د. محمد مرسي أحمد

الكتاب: العين والشمس

الكاتب: س. فافيلون

ترجمة : د. عطية عبد السلام عاشور

مراجعة: د. محمد مرسي أحمد

الطبعة: **2018**

الناشر: وكالة الصحافة العربية (ناشرون)



5 ش عبد المنعم سالم – الوحدة العربية – مدكور- الهرم – الجيزة

جمهورية مصر العربية

هاتف : 35825293 – 35867576 – 35867575

فاكس : 35878373

http://www.apatop.com E-mail: news@apatop.com

دار الكتب المصرية

فهرسة إثناء النشر

فافيلون ، س.

العين والشمس / س. فافيلون

– الجيزة – وكالة الصحافة العربية.

177 ص، **18** سم.

الترقيم الدولى: **3 – 763 – 446– 977– 978**

أ – العنوان رقم الإيداع : **8594 / 2018**

العين والشمس



هذه ترجمة كتاب:

The Sun And The Eye

تأليف

S.vavilou

مقدمة

المقارنات بين العين والشمس قديمة قدم التاريخ البشري ذاته، والعلم ليس هو مصدر هذه المقارنات. وإنما مصدر هذه المقارنات عالم آخر يقوم جنبًا إلى جنب مع عالم الظواهر التي اكتشفها العلم الحديث وفسرها؛

عالم سداه ولحمته تصورات الطفولة وخيالات البدائيين وشطحات الشعراء؛ عالم يقلد عالم العلم عن قصد أو غير قصد، هذا العالم يحملنا على أن نقلب النظر فيه أحيانًا فهو من المصادر المحتملة التي قد نستقي منها الفروض العلمية، إنه عالم عجيب أشبه ما يكون بدنيا القصص. والحق أن بين تصوراته وظواهر الطبيعة الفردية فيه لون يرأب صدعه بصلات وروابط قد لا ينكر العلم أحيانًا وجودها، هذه الروابط قليلها يصيب الحدس فيها جادة الحق وبعضها يجانبها التوفيق، بل قد تغرق في الخطأ إلى حد السخف– ومهما يكن من شيء فهي دائمًا تستأهل العناية لأن مثل هذا التردد بين الخطأ والصواب من شأنه أن يعين على تبين وجه الحق، ومن هنا كان من المعين على كشف الحقيقة فيما يختص بما بين العين والشمس من صلات أن نبدأ علاج الموضوع من وجهة نظر تصورات الطفولة وأحلام البدائيين الذين يؤمنون فيما بينهم بخيالات الشعراء.

والأطفال حين يلعبون لعبة الاستخفاء يلعبونها بطريقة غريبة نوعًا ما، فهم حين يستخفون يغمضون عيونهم أو يضعون أيديهم على عيونهم، وهم إذ يفعلون وبين أنفسهم أن أحداً لن يستطيع أن يراهم.

وهم بهذا التصور يربطون بين الرؤية والضوء، ويجعلون منهما شيئاً واحداً، على أن الأمر الذي يستدعي الملاحظة أن هذا الخلط الغريزي بين الرؤية والضوء عند الأطفال يستمر مألوفًا عند البالغين، ومن قبيل هذا ما يفعله المصورون وهم بطبيعة الحال رجال لهم بعض خبرة عملية بعلم البصريات، فنحن نراهم يغلقون أعينهم عند وضع الألواح الفوتوغرافية أو تحميضها، ليحولوا بينها وبين تسرب الضوء إليها وذلك في الحالات التي يقتضي الأمر فيها منع الضوء من دخول الحجرة المظلمة المعدة لإجراء هذه العمليات، هذا الارتباط الغريب بين الرؤية والضوء تجد آثاره في كثير من الأقوال التي تصدر منا في بعض المناسبات، ومن أمثال ذلك قولنا «إن النجوم تنظر إلى أسفل» إلى غير ذلك من الأقوال.

وفي الشعر نرى الربط بين نعمة البصر وبين الأجرام المضيئة، وكذلك بين العيون وصفات المصادر الضوئية.. أمرًا يكاد يكون مألوفًا أو لا مناص منه ومن أمثلة ذلك قول بوشكين:

إن نجوم الليل

تنظر إلى أسفل مثل عيون حادة تتهم

وتطارده بنظراتها الساخرة

وقوله: عيناه تقذفان الشرر



شكل (2) صورة مصرية لعبادة الشمس الحقيقية (تل العمارنة عصر إخناتون)

وقول «فت»:

في صحبتك أطلت النظر إلى النجوم

وأطالت النجوم النظر إلي

وقوله أيضاً:

إن الأشعة وهي خصائص الأجرام المضيئة التي لا سبيل للرؤية بدونها أشبه ما تكون بأهداب العين.

وقوله:

إن النجوم ترخي أهدابها الذهبية.

ومهما يكن من شيء فأعمال الشعراء قديمها وحديثها تحفل بالكثير من هذه الأمثلة.

وفي الخرافات والأغاني والصور المصرية، اعتبر الارتباط بين العين والشمس أمراً عميق الجذور لا يمكن الاستغناء عنه.

وتقول إحدى الأغاني الدينية في مدينة طيبة: «ما أجمل عيني آمون رع» والمقصود هنا بعيني الإله الشمس والقمر، وبعض الأبيات الأخرى من هذه الأغنية نفسها تظهر مدى التداخل والتعقيد بين فكرتي الضوء والرؤية.

لقد بدأ الناس يدركون وضح النهار

عندما بدأت عينك اليمنى تومض وترسل أشعتها

وأخذت عينك اليسرى تبدد ظلمة الليل

ولقد كان الرمز الديني القديم «العين التي تبصر كل شيء» على هيئة عين محاطة بالأشعة (شكل 1) وهنا العين ترى وتشع في نفس الوقت..

العين والشمس والرؤية والضوء ظهرت جميعها في صورة واحدة.

كانت هذه هي النظرية الأساسية للبصريات، وإن تكن عن غير وعي بها قبل أن تصبح البصريات علمية أو توغل في العلمية ومع ذلك فهنالك نظرية أخرى.

نحن نقول باستمرار: إن الضوء «ينقطع» أو«يقابل» أو «يخترق» أو «يصيب» والتعبير «الفيض المضيء» المعترف به في العلم والهندسة يعني لغويًا إنسيابًا أو تيارًا من الضوء، وفي الشعر نجد أن تشبيه الضوء بالسائل هو أمر لا يمكن تجنبه.

تنساب أشعته الذهبية إلى خياشيم الفرعون

أمنيتي أن تنهال على أشعتك كل يوم

«ترنيمة مصرية»

مرة أخرى بعينين نهمتين

أشرب الضوء الذي يبعث الحياة

إن الشعاع يتناثر في سرعة أشبه ما تكون بلمح البرق

«تبشيف»

تتناثر الشمس ملء الأيدي

ومطرها يغمرني

«يسفين»

وفي بعض الأوقات، كانت فكرة الضوء هذه كشيء جسيمي تأخذ صورة محددة، ففي الصور المصرية في عهد أمينوفيس الرابع (1370ق.م) كانت أشعة قرص الشمس – آتون تلقاها في النهاية الأيدي (شكل 2) والمقابل في اللغة الروسية لكلمة شعاع هو «لوتش» وهي تعني أيضًا السهم.

وفي بعض الأحيان يوجد في تحركاتنا اللاشعورية ما يعني أن الضوء شيء مادي يقول م. جوركي في مذكراته «رأيت أن تشيكوف في حديقته يمسك بأشعة الشمس في قبعة شخص بأقل غرابة من جمع شمس آتون في الأيدي».

إن التمثيل المستمر للضوء بجسم متحرك أو مانع في المجتمع البدائي وعند الأطفال وفي تصوراتنا اللا شعورية يؤكد بوضوح أن هذه المبادئ مادية لا شعورية ونشأت عن غير وعي، وفي نفس الوقت لا يوجد أدنى شك في أن اعتبار الضوء والرؤية كشيء واحد يرجع إلى ارتباط بدائي بين

العالم الخارجي وبين حواس الإنسان ذاتها، وهذا الارتباط في الطفولة وعند الإنسان الهمجي، تبقى بعض آثاره عند البالغين والمتحضرين عندما يكونون في حالة «لا شعورية» لقد كان فصل العالم الخارجي عن الخبرة الموضوعية هو المسئول الأول عن انتصار العلم المادي.

ومهما يكن من شيء فالوعي لا بد أن يأتي في وقته المناسب طبعًا، ويبدد الصورة المهزوزة للطفولة والشعراء عن الضوء، يبدأ الطفل تدريجيًا في التمييز بين حواسه وبين العالم الخارجي وتنفصل الأحلام انفصالًا تامًا عن الواقع كما ينفصل الشعور المضلل عن الحقيقة الفعلية، فمن المؤكد أن بوشكين كان يعلم أن العينين لا يمكنهما أن «تختلسا النظر» كذلك لم يكن من الضروري إقناع تشيكوف بأنه يستحيل الإمساك بأشعة الشمس،



شكل (1) حفر يمثل (العين التي تبصر كل شيء) على مدخل كنيسة بمدينة بو سكين

وبالرغم من ذلك فبالنسبة للشاعر، يبقى عالم الطفولة جذابًا حتى يومنا هذا، يبقى هذا العالم أسهل وأجمل طريق للوصول إلى الخيال، لهذا السبب يوجد احتمال كبير في أن «ضوء الأطفال والشعراء» سيستمر زمنًا طويلًا في المستقبل في كل من الشعر وفي الحياة اليومية. وهذه الأفكار تعيش

اليوم إلى جانب الوعي وإلى جانب العلم دون أن تتداخل معها، وذلك بالرغم من أنه في الماضي كان لها دون شك بعض التأثير حتى على العلم.

ومن هذه الناحية نجد أن تاريخ علم الضوء يدلنا على الكثير، بدأ هذا العلم بالضبط بمحاولة لنقل «بصريات الأطفال والشعراء» إلى واقع المعرفة الواعية المتقدمة، والدعامتان الأساسيتان لعلم البصريات هذا – أي الفرض بأن الرؤية والضوء هما شيء واحد والفرض بمادية الضوء– أصبحتا أساس علم الضوء في اليونان القديمة، واستمرتا في صور مختلفة حتى القرن السابع عشر بعد الميلاد تقريبًا. فمثلا أفلاطون في مؤلفه المشهور تيموس (**Timeaus**) وهو محاولة علمية، كتب يقول: «وأول الأعضاء التي خلقتها الآلهة العين، لتعطي الضوء». والفكرة التي وضعت العين تبعاً لها كانت كما يأتي:

«أخذوا مقدارًا من النار يعطي ضوءًا خافتًا ولا يكفي للاشتعال ومنه صنعوا مادة مماثلة للضوء المألوف في الحياة اليومية، والنار النقية



أمينوفيس الرابع (إخناتون) مؤسس عبادة الشمس

الموجودة بداخلنا تنساب من خلال العينين كتيار كثيف هادئ يخرج من العين كلها، وعلى الأخص من الجزء المركزي منها مما جعل الموضوع كله صفة مستقيمة، وبالتالي سمحت بالمرور لهذا العنصر النقي فقط، وعندما يحيط ضوء النهار بتيار الرؤية فإن الشيء يقع على مثيله وينطبق الاثنان، ويتكون جسم واحد في طريق النظر بواسطة العلاقات الطبيعية، وذلك عندما يقابل الضوء الذي يسقط من الداخل أي جسم خارجي، وتيار الرؤية كله الذي يتأثر بطريقة متشابهة نتيجة للتماثل ينشر حركة كل ما يمسه أو يعترض طريقه في الجسم بأكمله، حتى يصل إلى الروح التي تسبب الحاسة التي نسميها البصر، ولكن عندما يأتي الليل وتذهب النار الخارجية الشقيقة ينقطع تيار الرؤية، لأنه بالذهاب إلى عنصر غير مشابه يتغير ويصبح في غير الإمكان تمييزه، وذلك لأنه لم يعد الآن من نفس طبيعة الجو المحيط به والذي لا يحتوي على النار».

وعلى ذلك فعند أفلاطون تناظر النار الهادئة للعين النار المستعرة للشمس، ويناظر إغلاق الأعين غروب الشمس.

وقد حاول داميانوس من لاريسا (القرن الرابع بعد الميلاد) أن يدافع عن نظرية شعاع الرؤية التي يفترض تبعًا لها أن الرؤية تحدث نتيجة لإرسال أشعة من العين، حاول أن يدافع عن هذه النظرية كما يلي: «لا توجد بالعين فتحات وذلك على خلاف الأعضاء الخاصة بالإحساسات الأخرى، وبالتالي فإن العين مصممة كعضو حي وإنما هي ذات شكل

كروي، وهنا على حسب كلام داميانوس يثبت أن الأشعة تخرج من العين، وتبين لنا الومضات التي تخرج من العين أن هذه الأشعة هي أشعة ضوئية وأعين الحيوانات لا تنشط ليلًا تلمع حتى في أثناء الليل».

وقد كون الرياضيون العظام في الزمن القديم، من أمثال إقليدس وبطليموس، كونوا نظرية لانعكاس الضوء على المرايا المستوية والكرية وذلك على أساس نظرية الإشعاع من العين، وبذلك أوجدوا علم البصريات الهندسية الذي لا يزال يحتفظ بمغزاه حتى يومنا هذا.

ومن الطبيعي أن يتساءل المرء كيف يتفق المستوى الرفيع الذي وصل إليه العلم الإغريقي في مجالات الهندسة والفلك والميكانيكا وغيرها، كيف يتفق هذا المستوى مع نظرية شعاع الرؤية التي تبدو سخيفة تمامًا للناس اليوم، والتي أيدها إقليدس وبطليموس بالذات وهما اللذين تركا أعمالًا خالدة في الهندسة والفلك.

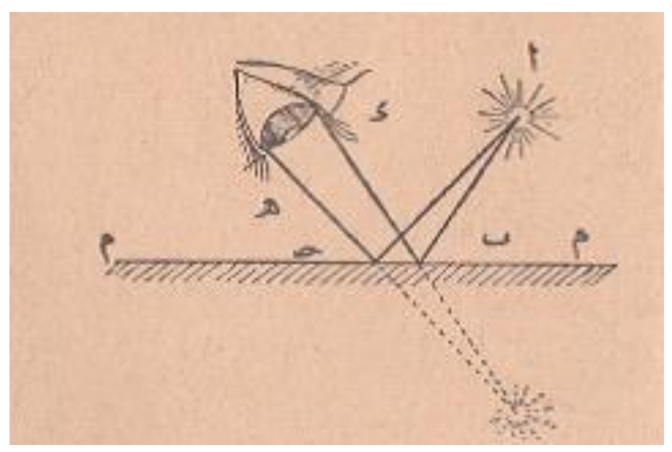
والدهشة التي تعترينا مرجعها إلى نسيان الأوضاع التاريخية، كانت المشكلة الرئيسة التي تواجه علماء البصريات القدامى هي كيفية تفسير صور الأجسام، في هذه الأيام عرفت الصور إما من الرسومات فقط، فلم يكن هناك طرق أخرى، فحتى آلة التصوير البدائية (Camera obscura) لم تكن معروفة وأيضًا لم يدر بخلد أي إنسان أن في الإمكان الحصول على الضوء باستخدام العدسات والمرايا المقعرة، وبالإضافة إلى ذلك كان الناس القدامى يجهلون تركيب العين، كانوا لا يعلمون شيئًا على الإطلاق عن الكيفية التي تتكون بها الصورة في الشبكية بواسطة العدسة البلورية في العين.

في مثل هذه الظروف، كانت ظاهرات الرؤية وتكوين الصور في مخ الإنسان للأشياء المحيطة، ظاهرات معقدة للغاية، وبالتالي فإن مبدأ أشعة الرؤية التي تعمل كنوع من الوسائل اللاشعورية بدت للقدامى كأبسط حل لهذا الغز.

فلنتخيل أنفسنا مكان عالم البصريات القديم ولنبحث مسألة الكيفية التي تتكون بها صورة النقطة المضيئة في المرآة المستوية م م (شكل 3) عرف القدماء أن الضوء يسير في خطوط مستقيمة كما عرفوا قانون الانعكاس، إذا فرضوا كما نفعل نحن الآن أن الضوء يشع من (أ) فعلى أساس استقامة سير الضوء وقانون الانعكاس كانوا سيرسمون الشعاعين أ ب د، أ ج هـ ، وكانوا سيجدون أن هذين الشعاعين يقابلان العين عند (د)، (هـ) ولكن المصير التالي لهذه الأشعة كان سيبقى مجهولًا بالنسبة لهم وسيكون من المتعذر فهم تكوين الصورة عند أ خصوصًا وأن الأشعة لا تتجمع وهي تقترب من العين بل تتفرق كما يبين الشكل، وعند معالجة هذه الصعوبة التي يبدو أنه من المستحيل التغلب عليها، ظهرت نظرية شعاع الرؤية لتساعد القدماء على حل هذه المشكلة، وهي النظرية التي نشأت عن الصور البدائية للأطفال والبدائيين، فلنفرض أن الأشعة التي تنتج عنها الصورة لا تسير من المصدر الضوئي للعين وإنما في الاتجاه العكسي، وأن العين تمس بطريقة ما الاتجاه الأصلي لأشعة الرؤية التي تخرج منها، إذا فرضنا ذلك فإننا نجد في مثال الانعكاس على مرآة مستوية (انظر شكل 3) أن هذه الأشعة تنعكس من المرآة، مثل الأشعة الضوئية، عند ج، ب وتتجمع عند «المصدر» أ وإذا فرضنا، كما فعل القدماء، أن مخ

الإنسان يأخذ الإشارة بطريقة ما تدله على اتجاه الأشعة الأصلية الخارجة من العين فإننا نجد أن هذه الأشعة تبدو وكأنها تتقابل عند النقطة التخيلية التي يتقاطع عندها امتدادهما.

وميزة هذا التفسير هي أنه لا توجد ضرورة لمعرفة ما يحدث للضوء في العين، يكفي أن نفترض كما ذكرنا من قبل، أن الاتجاه الأصلي للأشعة يتعرف عليه المخ عن طريق العين بوسيلة ما فتحدث الصورة التقديرية في المخ، بالرغم من أن نظرية شعاع الرؤية لا تستند إلى أساس فإنها كانت ولا شك مفيدة وتقدمية بالنسبة للوقت الذي ظهرت فيه، وذلك لأنها أدت إلى تكوين نظرية صحيحة لحدوث الصور بواسطة المرايا، وهذا هو السبب في أن هذه النظرية استمرت لمثل هذه المدة الطويلة، وحتى في القرن السابع عشر كان جاليليو يعود لهذه النظرية في بعض الأحيان.



(شكل3) رؤية انعكاس نقطة مضيئة في مرآة مستوية

في الأزمنة القديمة كان الشيء الوحيد الذي يقف ضد نظرية الشعاع البصري هو مبدأ أغرب منها وضعه إبيكيوروس وليكروتس، وهذا المبدأ يفترض وجود صور رقيقة للأشياء تسبح باستمرار في جميع الاتجاهات، وتقابل العين، ويقول إبيكوروس، إن الأجسام المضيئة أو المضاءة تعطي باستمرار شرائح رقيقة للغاية وهذه الشرائح تنقل مميزات وخواص الجسم الذي يرسلها تمامًا.

وتبعًا لعلماء الذرة القدامى فإن هذه الطبقات الكاملة عند مقابلتها للعين هي التي تحدث الصورة المرئية الناتجة، هذه الفكرة «أنقذت الموقف» ولكنها كانت نوعية برمتها، وبالتالي فإن علم البصريات الهندسية لإقليدس وبطليموس، ذلك العلم الذي يعتمد على الكم، كان لا بد من اعتباره أفضل وأكمل من النظرية السابقة.

لقد خضنا بالتفصيل نوعًا ما في نظرية شعاع الرؤية وذلك لنوضح أن هذه النظرية لم تكن تخبطًا فظيعًا من جانب علماء البصريات القدامى وإنما كانت أخف الضررين.

ولقرون عديدة ومن عصر لعصر استمر الناس يلقنون أن العين والشمس شقيقتان، وأنهما ظاهرتان من ظواهر مادة واحدة هي النار التي قد تكون في بعض الأحيان عنيفة وفي بعض الأحيان خفيفة، وكانت الأرض تعتبر مركز الكون والإنسان مركز هذا المركز، وفي أغلب الأحيان كان الخط الذي يفصل بين الخيال الشعري وبين العلم غير مميز أو خافت

أو غير موجود على الإطلاق، وقد دخل التصور الشعري في العلم كمحاولة لإدماج الاثنين معًا، ولكن هذه الوحدة لم يصبها الاستقرار أبدًا.

وأحيانًا أخرى كان يجري العكس، فيدخل الوعي والمبادئ الأولية للعلم الموضوعي إلى قلب الخرافات والدين، لقد كان الدين في مصر القديمة هو عبادة الشمس، وكانت هناك عدم قدرة على قياس أبعاد الشمس والأرض وسرعة الضوء وتأدية العين لوظيفتها... وكان كل ذلك يظهر في هذا الدين على أنه العلاقة بين الإله والإنسان، وكان الرب في بعض الأحيان يأخذ صورة طائر وفي أحيان أخرى صورة إنسان له رأس طائر، ومصحوب بقرص الشمس الذي يبحر عبر السماوات (شكل **4**)



(شكل **4**) صورة مصرية للشمس كإله محمول في قارب

آمون رع الطائر الإله

ذو الريش الذي يشع

يعبر السماوات بضربة واحدة من جناحيه

هذه هي صورة للشمس في إحدى الترنيمات القديمة بمدينة طيبة، ولكن في القرن الرابع عشر قبل الميلاد تغيرت نظرة المصريين للعلم تغيرًا ذا مغزى، ومن الطبيعي أن الاعتقاد بأن الاتجاه الجديد كان في الدرجة الأولى

نتيجة لمشاهدات وأفكار علماء الفلك المصريين، ومع ذلك فإن التاريخ قد فاته الإبقاء على أسمائهم.

وقد نسبت السجلات الرسمية وهي الكتابات الهيروغليفية المنقوشة على الأحجار الثورة في الأفكار المصرية عن الشمس إلى الفرعون.

وبالتالي أصبح الفرعون أمينوفيس الرابع كوبرنيكس مصر، وفي عهده أدخل نظام جديد للدين يتضمن عبادة شمس حقيقية فعلية، لا طائر ولا جعران وإنما قرص الشمس المرئي بأشعته، وغير فرعون اسمه من أمينوفيس (الذي يعني المحبوب من آمون) إلى إخناتون الذي يعني المفضل عند آتون الذي هو قرص الشمس، وعلى التماثيل (انظر شكل 2) كان الإله يمثل كقرص له أشعة الضوء والحياة وهما الشيئان الوحيدان اللذان يدلان على الإله الجديد. ، وفي الترنيمات الموجهة لآتون لم نعد نجد التنوع والكثرة أو التداخل بين الرموز التي تدل على الشمس كما كان ذلك في الماضي، فالآن تدور الأغاني حول التأثير المفيد للشمس على الإنسان وعلى جميع الكائنات الحية.

أيتها الشمس.. ما أجل تلألؤ نورك في السماء!
أنت العريقة في قدمك والخالدة خلود الحياة
عندما يرتفع قرصك في الشرق
يعم الجمال أرجاء الفضاء
أنت المتلألئة تطلين بعظمتك على الأرض
فتعانق أشعتك الأرض وما عليها
من مخلوقات كنت السر في وجودها

بهذه البساطة وهذا الوضوح تبدأ ترنيمة طويلة موجهة للشمس، فأصبحت أهمية الشمس للأرض واضحة وحقيقية، وقد يبدو أن تطابق العين والشمس أصبح الآن خارج الموضوع تمامًا، ولكن عبادة الشمس الحقيقية اختفت من مصر بزوال إخناتون، ومرت آلاف من السنين إلى أن ظهر علم حر من قيود الإحساسات والغرائز البشرية، علم رفض الإنسان فيه رفضًا باتًا فكرة «مركزه الممتاز» في الكون ذلك المركز الذي منحه له الدين والعلم القديم، وأصبح الإنسان ينظر لنفسه كأحد ظواهر الطبيعة، كنتيجة لتطور العالم الحي على الأرض، ذلك التطور الذي استغرق أجيالًا طويلة.

ومع ذلك فإن الفكرة القديمة عن تشابه العين والشمس استمرت في العلم الطبيعي الحديث ولكن في صورة متغيرة تمامًا، لقد اكتشف العلم في أيامنا هذه العلاقة الحقيقية بين العين والشمس، وهي علاقة مختلفة تمامًا عن تلك التي يتصورها الأطفال والشعراء والتي اعتقد فيها القدماء، وموضوع الصفحات التالية هي هذه العلاقة الحقيقية.

ولكن بغض النظر عن العلم، وجنبًا إلى جنب معه، سيستمر الشعراء وجميع الناس زمنًا طويلًا يتحدثون عن الأعين التي تلمع والنجوم التي تطيل النظر، وليس ذلك بمستغرب فنحن مازلنا نقول إن الشمس تشرق وتغرب، وذلك بعد أربعة قرون على وقت كوبرنيكوس.

الضوء

ما الغرض الذي من أجله كرس كثير من الرجال العظماء كل مجهودهم وعرضوا أنفسهم للخطر والعذاب؟ هل هو فقط النظر والبحث في عدد كبير من المواد والأشياء المختلفة المتجمعة مع بعضها بطريقة تثير اللبس، دون التفكير في الطريقة المثلى لتنظيمها؟ (لومنزوف)

المسافة بين الأرض والشمس هي حوالي محيط الكرة الأرضية **4000** مرة، ما هو إذن هذا الضوء الذي يجلب للعين باستمرار أخبارًا من الشمس من

هذا البعد الكبير؟ وعلى الخصوص كيف نميز الضوء من بين الأشياء الأخرى المحيطة بنا؟ ما هي صفاته المميزة؟ حتى القرن السابع عشر كان الجواب عن هذه الأسئلة كالآتي: الضوء هو ما تراه العين وهو السبب في حاسة البصر، ومن الواضح أن هذه الخاصية من خواص الضوء ليست كافية كصفة مميزة، اضغط بأصبعك بلطف على عينك بالقرب من أعلى الأنف في الظلام فترى بقعة ساطعة عجيبة، إذا أطلقنا على سبب هذا الإحساس اسم الضوء فإنه يجب علينا أن نعود لنظرية شعاع الرؤية التي ذكرناها في المقدمة، لا يمكن تسمية كل مسبب لحاسة البصر بالضوء، ومن ناحية أخرى يمكننا أن نتساءل: هل جميع أنواع الضوء يمكن رؤيتها؟ والإجابة هي بالنفي دون شك، وكما سنرى بعد قليل، يوجد عدد لا نهائي من الظواهر غير المرئية وسيتحتم علينا أن نسميها ظواهر ضوئية.

وهكذا قابلتنا في بدء دراستنا للضوء صعوبة هامة، نحن لا نعلم ما هو كنه موضوع الدراسة، للخروج من هذا الطريق المظلم، دعنا نقم بفحص أدق لانطباعات الرؤية الخاصة بنا.

الصور البصرية لها صفتان واضحتان لكل من يستطيع أن يرى ولا تتطلبان أي تفسير آخر*.

ولكن كلًا من اللمعان وتنوع اللون هما صفتان نسبيتان وذاتيتان، ففي ضوء النهار لا يمكن تمييز القمر من السحب، بينما في الليل يصل القمر في ضوئه إلى مرتبه الشمس، وهو «العين الثانية لآمون رع» والنجوم التي تتعذر رؤيتها بالنهار تبدو لامعة للغاية في الليالي اللاقمرية في الخريف.

والصفة الثانية لحاسة البصر – وهي تنوع اللون – ليست بأقل من ذلك خداعًا، نحن نميز الأسود والأبيض والألوان الرمادية التي تقع بينهما، وجميع أنواع المجموعات الملونة مثل الألوان التي تكون قوس قزح تبدو لنا مختلفة اختلافًا أساسيًا عن اللونين الأبيض والأسود، والواقع أن الفرق هو إلى حد كبير نسبي وذاتي، ويمكن إثبات ذلك بإجراء التجربة البسيطة التالية، نأخذ قرصًا من الورق المقوى وثبته على مسمار خشبي ليكون ما يشبه النحلة ثم نعطي نصف القرص لونًا أسود إما بتغطيته جيدًا بقطعة حرير سوداء وإما بطليه بنوع جيد من الطلاء الأسود الفاحم، وفي النصف الآخر للقرص نقوم بطلاء (أو بلصق الحرير على) أقواس متحدة المركز كما هو مبين في شكل 5 (نحلة بنهام)، إذا أضيئت هذه النحلة إضاءة ساطعة ثم جعلت تدور فإنه عندما تصل سرعتها لحد معين لن نرى الرمادي الذي ننتظره لهذه الشرائح المتحدة المركز وإنما نجدها ملونة ولكن ألوانها تميل إلى البهتان وضعيفة التشبع. وعلى ذلك فخليط اللونين الأبيض والأسود تحت شروط معينة يعطي صورة ملونة.

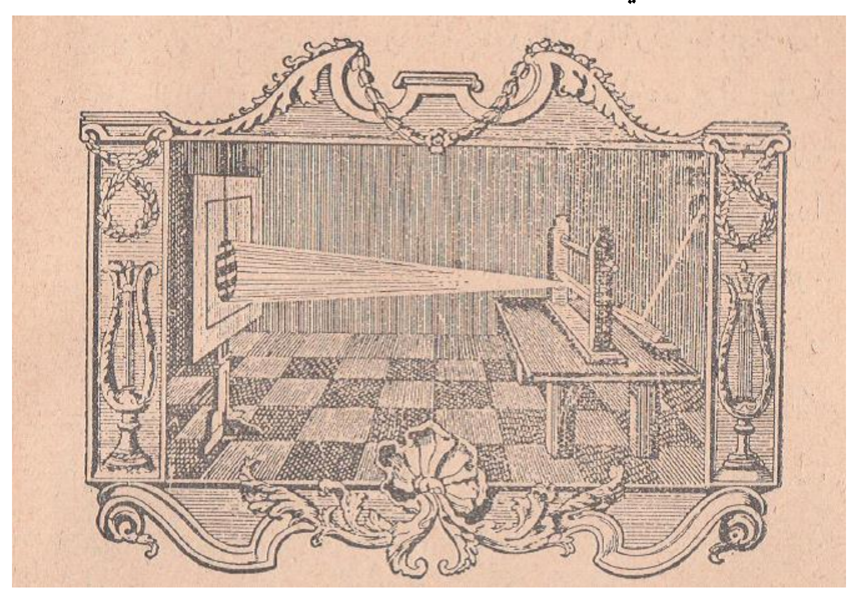


(شكل 5) نحلة بنهام

وهذا يقودنا إلى نتيجة مقلقة وهي أنه عند تصريف الضوء لا يكفي أن نبدأ فقط من الإحساسات البصرية، وهذا هو السبب في أن الشيء الوحيد في علم الضوء الذي كان واضحًا تمامًا لفترة تزيد عن ألفين من السنين منذ نشأة هذا العلم، هذا الشيء الوحيد هو الخواص الهندسية للأشعة الضوئية، أما الباقي جميعه فهو مبني على الانطباعات البصرية غير الواقعية، بقى غامضًا وغير محدد ودون تفسير وذلك لمئات وآلاف من السنين.

ولم يخرج علم البصريات من هذا المأزق إلا في القرن السابع عشر، ويرجع الفضل في ذلك إلى إسحاق نيوتن الذي نجح أخيرًا في ترجمة الإحساسات الذاتية الخاصة بدرجة اللمعان وتعدد الألوان إلى لغة موضوعية، لغة القياس والعدد والعلاقات الفيزيائية، ففي عام 1665م بدأ نيوتن تجاربه على ضوء الشمس، في هذه التجارب تمر حزمة من ضوء الشمس خلال ثقب دائري في الغطاء الخشبي لنافذة ثم تسقط على منشور زجاجي، يعمل المنشور على انكسار الحزمة الضوئية التي تقع بعد ذلك على ستارة، وعلى الستارة أعطت الحزمة الضوئية صورة تميل إلى الاستطالة وتحتوي على نفس مجموعة الألوان الموجودة في قوس قزح، وكان ظهور مثل هذا القوس (الطيف) عندما يمر الضوء خلال منشور قد لوحظ منذ وقت بعيد قبل نيوتن وكان يعزي إلى أن الزجاج يؤثر على الضوء الأبيض بطريقة ما فيغير لونه، استنتج نيوتن من تجاربه أن هذا لا يطابق الواقع،

فالضوء الأبيض (تبعًا لنيوتن) هو خليط ميكانيكي معقد من عدد لا نهائي من الأشعة المختلفة، وهذه الأشعة تنكسر لدرجات مختلفة بواسطة الزجاج المنشور فلا يغير الضوء الأبيض ولكنه يحلله إلى مكوناته البسيطة، التي إذا جمعت ثانية نتج الضوء الأبيض الأصلي (شكل 6) ، فمثلًا إذا فصل شعاع أحمر نقي من مجموعة الألوان الناتجة عن المنشور ومر في منشور آخر لا يحدث تغيير آخر، وعلى ذلك فالتحليل الأول الذي حدث كانت نتيجته أمرًا ثابتًا، ومع ذلك فإن عدم تغير الصفة اللونية لهذا اللون البسيط الثابت لا يكشف في حد ذاته.



(شكل 6)

جهاز لتحليل ضوء الشمس بواسطة منشور في حجرة مظلمة والجهاز وضع في صالة الفن لأكاديمية العلوم بمدينة بيترسبورج، وذلك في النصف الأول من القرن الثامن عشر (من رسم للأكاديمي كرافت).

عن طبيعة الضوء، فهو لا يزال ذاتي ونسبي كما سبق، فنحن إذا مزجنا اللون الأحمر البسيط باللون الأخضر نحصل على الأصفر، وهو لون شبيه بإحدى الأشعة النقية الموجودة في طيف الشمس وإذا مزجنا الأخضر بالبنفسجي نحصل على الأزرق وهكذا... ، ويتعذر على العين في هذه الحالات أن تميز بين الألوان البسيطة والألوان الناتجة عن الخلط، ولا يمكن التفرقة بين مثل هذين اللونين إلا باستخدام منشور أو جهاز طيفي على العموم، وهو الجهاز الذي يحلل الطيف تحليلًا مكانيًا إلى ألوانه البسيطة.

لقد كان الترتيب المكاني للألوان البسيطة لا اختلاف اللون هو الذي أعطى نيوتن المفتاح لأول كخاصية كمية وموضوعية للضوء، وهي الخاصية التي تناظر صفة اللون الذاتية، برهن نيوتن على أن الترتيب المكاني للألوان البسيطة ينتج عن اختلاف قابليتها للانكسار بالمنشور ويمكن التعبير عن قابلية الانكسار بعدد معين هو معامل الانكسار.

وعلى ذلك فأخيرًا نجح نيوتن في إخراج علم الضوء من الفوضى وعدم التحديد الخاصين بالانفعالات الذاتية، وجعله يسير على طريق الرياضيات وهو طريق مستقيم ومستقر.

وبعد نيوتن، ثبت من الدراسة التي تلت لانكسار الضوء بواسطة الأجسام المختلفة أن الانكسار يتوقف في الدرجة الأولى على مادة المنشور، فبالنسبة لمنشور مصنوع من الزجاج العادي أو من الكوارتز تكون درجة انكسار الأشعة الزرقاء أكبر من درجة انكسار الأشعة الحمراء، كما في قوس قزح تمامًا، أما في منشور ذي سمك صغير مصنوع من مادة صباغة

صلبة (مثل الفوشسين **Fuchsine**) فيمكن الحصول على أطياف غير عادية تنكسر فيها الأشعة الحمراء أكثر من الزرقاء.

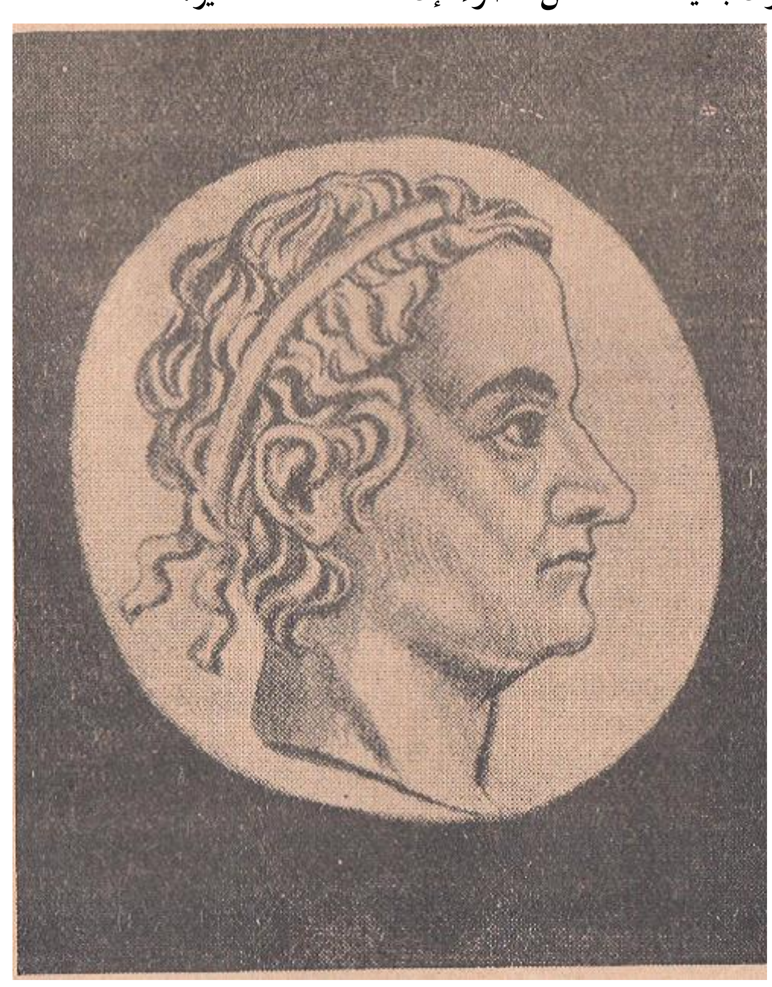
وعلى ذلك فقد ظهر أن جدول الانكسار هو خاصية معقدة تتوقف ليس فقط على نوع الضوء وإنما على نوع المادة أيضاً، ومع ذلك فإن نيوتن اكتشف خاصية هامة أخرى للأشعة النقية مما مكن من تعريف هذه الأشعة بطريقة كمية مهما كان نوع المادة، إذا وضعت عدسة نظارة محدبة تحديباً بسيطاً على لوح من الزجاج المستوي وأضيئت بضوء أبيض يظهر حول نقطة تماس العدسة مع الزجاج عدد من الحلقات المختلفة الألوان والمتحدة في المركز، وبعد ذلك استبدل نيوتن الضوء الأبيض بأشعة نقية ناتجة عن مرور ضوء الشمس خلال منشور، وقد أظهر ذلك ظاهرة أكثر عجبًا، إذ كان لون الأشعة الساقطة أحمر، وظهر حول نقطة التماس عدد كبير من الحلقات الحمراء والسوداء على التوالي (شكل 7) ، وكلما ابتعدنا عن المركز المعتم صغر البعد بين الحلقات المتتالية، قد وجد نيوتن أن النسبة بين أنصاف أقطار الحلقات المعتمة هي كالنسبة بين الجذور التربيعية للأعداد الزوجية المتتالية أي:

$$\sqrt{2} : \sqrt{4} : \sqrt{6} : \sqrt{8} ....$$

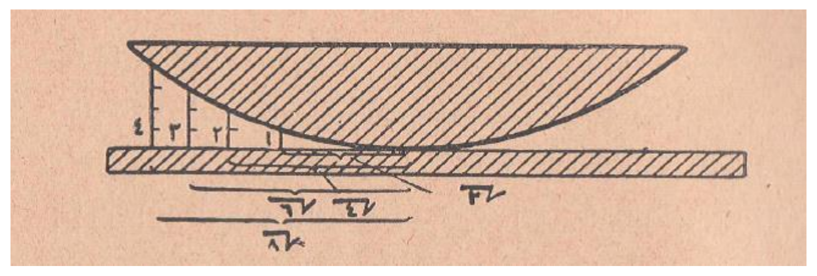
وإذا أبعد الزجاج المستوي ووضعت العدسة فوق سطح غير عاكس فإن الحلقات تختفي، وعلى ذلك وجد نيوتن أن الحلقات لا تظهر إلا إذا وضعت العدسة على سطح زجاجي مستوي، على أن يوجد بينهما طبقة هوائية ذات سمك صغير جداً (شكل 8) ، وليس من الصعوبة بمكان أن نثبت هندسياً أن سمك طبقة الهواء المناظرة لكل حلقتين متتاليتين إحداهما

مضيئة والأخرى معتمة، ليس من الصعب إثبات أن هذا السمك يزداد متناسباً مع الأعداد الصحيحة المتتالية.

وسمك الطبقات المقابلة للحلقات المختلفة هو مضاعفات سمك الطبقة المقابلة للحلقة الأولى التي هي أصغر الحلقات، وإذا أضأنا الزجاج بألوان بسيطة مختلفة من الضوء فإن سعة الحلقات تتغير.



إسحاق نيوتن (**1642– 1727**م)



(شكل 8) مركز حلقات نيوتن

وتكون الحلقات أوسع ما يمكن إذا كان لون الضوء أحمر وأضيق ما يمكن إذا كان هذا اللون بنفسجيًا، ويختلف سمك طبقة الهواء الواقعة أسفل الحلقة الأولى باختلاف اللون البسيط المستعمل. ولكن هذا السمك يبقى ثابتًا إذا استعملنا نفس اللون مهما اختلفت درجة تحدب العدسة ومهما اختلفت المادة المصنوعة منها العدسة، ويختلف السمك فقط إذا نحن استبدلنا بالهواء سائلًا ما، وفي هذه الحالة تتوقف سعة الحلقات على معامل انكسار السائل.

ونتائج هذه التجارب البسيطة التي كان أول من أجراها نيوتن والتي من السهل إجراؤها ثانية (وهي أبسط حتى من التجارب التي يستخدم فيها المنشور) ، هي نتائج مدهشة في الواقع، فأولًا تكشف هذه التجارب عن صفة دورية منظمة للفيض المضيء.

والأمر الثاني (وهو لا يقل إدهاشًا عن الأول) أنه بالرغم من أن العدسة مضاءة إضاءة منتظمة بالأشعة الساقطة فإن الأشعة المنعكسة والتي تخترق العدسة تظهر حلقات معتمة، أي غير مضيئة.

سنعود إلى هذه الظواهر قريبًا ونفسرها، أما الآن فمن المهم إثبات أنه على أساس تجربة حلقات نيوتن يمكن إيجاد ارتباط بين كل لون بسيط

وبين سمك معين لطبقة الهواء الواقعة بين الزجاج، والتي تناظر الحلقة المعتمة الأولى، وبالتالي فإنه يمكن تعريف اللون النقي بطريقة كمية عن طريق سمك الطبقة الأولى هذه (انظر شكل 8) بدلًا من معامل الانكسار، وسنسمي هذا السمك في الوقت الحالي بطول الموجة، وهي تسمية اتفاقية وسنرمز له بالحرف الإغريقي "μ" وأطوال موجات الضوء المرئي، كما بين نيوتن لأول مرة، هي صغيرة جداً ويعبر عنها عادة بدلالة وحدات خاصة تسمى المليميكرونات (م μ) والمليميكرون يساوي واحد من مليون من المليمتر، فمثلًا وجد نيوتن طول موجة اللون الواقع على الحد الفاصل بين منطقتي اللون الأخضر والأزرق في طيف الشمس هو μ=492 م μ ، أما النهاية الحمراء للطيف فطول موجتها 700م μ، وطول موجة النهاية الزرقاء 400م μ.

والمغزى العميق لتجارب نيوتن يستحق أن نفكر فيه مليًا، إن ظاهرة اللون العجيبة التي تجنب العلماء محاولة تفسيرها لآلاف السنين قد ظهرت صفتها الكمية فجأة وأصبحت محل التحليل العلمي المضبوط.

في عام 1675م بينما كان نيوتن لا يزال يبحث في ألوان المنشور وفي الحلقات عين رومر وهو فلكي سرعة الضوء لأول مرة، ووجد أنها تبلغ 186000ميل (300000 كيلو متر) في الثانية تقريباً (يدخل في هذه الأرقام التصحيحات التي تلت) يستغرق الضوء حوالي 8 دقائق ليقطع المسافة بين الشمس والأرض، على أساس مبدأ شعاع الرؤية الذي يقول بأن الضوء ينتقل من العين إلى الجسم المضيء، واستنتج علماء البصريات القدامى أن سرعة الضوء لا بد أن تكون كبيرة جدًا، فمهما كانت السرعة

التي نفتح بها أعيننا فإننا نرى أبعد النجوم عنا فوراً، وليست ثلاثمائة ألف كيلومتر في الثانية إلا سرعة بطيئة جدًا إذا قورنت بالسرعة التخيلية للأشعة التي تخرج من العين، فلو كانت سرعة هذه الأشعة مساوية لسرعة الضوء لما أمكنا رؤية الشمس إلا بعد مرور ثماني دقائق من فتح أعيننا، وبعد رومر قيست سرعة الضوء مرات عديدة بطرق مختلفة بعضها فلكي والآخر أرضي، واليوم نعلم قيمة سرعة الضوء بدقة كبيرة، ففي الفراغ الخالي من المادة تساوي سرعة الضوء **299776** كيلو متر في الثانية، ومن المؤكد أن الخمسة الأرقام الأولى من اليسار من هذا العدد صحيحة، والرقم السادس وهو الأخير هو فقط الرقم التقريبي، ومن المهم أن نلاحظ أن سرعة الضوء في الفراغ لا تتوقف على طول الموجة فهي نفسها سواء أكانت الأشعة حمراء أم زرقاء، وقد ثبت ذلك بدقة كبيرة للغاية من حقيقة أن كسوف النجوم البعيدة (الذي يحدث مثلًا عندما يمر أحد نجمين مزدوجين في ظل الآخر) لا ينتج عنه أي تغير محسوس في لون النجم، إذا كانت سرعات الألوان البسيطة المختلفة تختلف حتى بدرجة طفيفة جدًا فإن مثل هذا الكسوف لا بد وأن يؤدي إلى تغير ملحوظ في لون النجم.

ومن ناحية أخرى عندما ينتقل الضوء خلال مادة كالماء أو الزجاج مثلًا، تتوقف سرعته على طول الموجة، وهذا هو السبب في ظهور الطيف عند مرور الضوء في منشور، وظهور أقواس قزح في السماء هو برهان قاطع لحقيقة أن سرعات الأشعة التي تختلف أطوال موجاتها في قطرات الماء مختلفة.

ويمكن تعيين هذه السرعات في الفراغ إذا علم معامل الانكسار، فمعامل الانكسار هو النسبة بين سرعة الضوء في الفراغ وبين سرعة الضوء ذي طول موجة معينة عند مروره في مادة.

إذا قسمنا سرعة الضوء على طول موجته نحصل على عدد التغيرات التي تحدث في شعاع الضوء في الثانية أو ما يسمى بتردد الضوء، إذا كان التردد هو μ وسرعة الضوء حـ وطول الموجة λ فإن

$$\mu = \frac{\text{ح}}{\lambda}$$

وتردد الضوء المرئي كبير جداً فمثلا الضوء الأصفر الذي طول موجته 600م μ تردده نصف مليون دورة في الثانية!

والآن تقابلنا حقيقة غاية في الأهمية، كما رأينا، تتناسب سرعة الضوء عكسيًا مع معامل الانكسار للوسط، ومن ناحية أخرى يتوقف طول الموجة على الوسط الذي يمر فيه الضوء، وقد بينا ذلك عند وصف تجارب نيوتن، تقترب حلقات نيوتن من بعضها إذا استبدل الماء بالهواء الموجود بين العدسة والزجاج وطول الموجة، مثله في ذلك مثل السرعة، يتناسب عكسياً مع معامل انكسار الوسط وعلى ذلك فخارج قسمة سرعة الضوء على طول موجته، أي تردد الضوء كما يتضح من المعادلة السابقة، لا يتوقف على مادة الوسط، ويترتب على ذلك أن مقدار التردد هو صفة كمية خاصة بالضوء وذات أهمية بالغة، وهذه الصفة هي نفس الخاصية التي تناظر اللونية.

ومع ذلك لا تكفي سرعة الضوء وتردده لتعريف الضوء تعريفاً تاماً، من الانطباعات الذاتية نعلم أن مدى تغير لمعان الضوء واسع جداً، قارن بين لمعان بريق الذبابة النارية بسطوع الشمس المباشر ويتضح فورًا كيف يمكن أن يختلف البريق بدرجة لا نهائية.

ما هو الإحساس الطبيعي لبريق الضوء؟ لم يتمكن العلم من الإجابة عن هذا السؤال إجابة صحيحة إلا بعد أن اتضح مبدأ الطاقة، لا يوجد شك في أن الضوء يحمل طاقة دائماً، ويتضح ذلك من التأثيرات المختلفة للضوء: التسخين، التفاعلات الكيميائية، إلخ... وعلى العموم نحن نتعرف على الضوء من تأثيراته أي كنتيجة لحقيقة أنه يحمل طاقة، إن الإحساس بالإضاءة يرتبط ارتباطاً وثيقاً بالطاقة التي تحملها الأشعة، وكلما زادت الطاقة التي يحملها شعاع ذو لون واحد زادت شدة إضاءته.

ولكن العين ليست إلا حكمًا ضعيفاً على طاقة الإضاءة ففي الليل يكاد ضوء ذبابة النار يعمي العينين بينما تتحمل العين في النهار ضوء الشمس المباشر، ومن ناحية أخرى إذا نحن قارنّا أشعة من ألوان مختلفة نجد أن شعاعاً أحمر مثلًا يبدو أقل بريقاً من شعاع لونه أخضر طاقته أقل بكثير من طاقة الشعاع الأول، وعلى ذلك فبالرغم من أن الطاقة والبريق يتداخلان فإنهما فكرتان مستقلتان تماماً عن بعضهما البعض ونتيجة لعدم التحديد هذا، يستخدم علماء الضوء المحدثين طرقاً طبيعية موضوعية لقياس طاقة الإضاءة، ويمكننا في هذه المرحلة أن نستنتج بعض النتائج، فما دمنا الآن قد تحررنا عن الاختيارية والتعقد للإحساس الذاتي للضوء، يمكننا أن نؤكد على أساس التجارب والقياسات أن الضوء يحمل طاقة وأنه

يسير في الفراغ الموجود بين النجوم بسرعة تساوي 186000ميل في الثانية وله صفات دورية، وسنحاول أن نعتبر كل ما ينطبق عليه هذا التعريف كضوء بصرف النظر عما إذا كان يسبب انطباعات حسية أو لا يسبب، وسترى فيما بعد أنه يجب تعديل هذا التعريف وتكميله بعض الشيء ولكنه يكفينا في الوقت الراهن.

والحقيقة أنه منذ بداية القرن التاسع عشر وجد علماء الطبيعة أنه يتحتم عليهم أن يدخلوا في حقل علم البصريات مجالات أوسع وأوسع من «الأشعة غير المرئية» التي تطغى بلا شك على الجزء المرئي من الطيف، يحيط الظلام بكلا النهايتين الحمراء والبنفسجية لطيف الشمس النيوتوني، هل يخفي هذا السواد شيئاً ما؟ لا تكاد ترى العين أي شيء تقريباً.

في سنة 1800م أجرى هرشل تجربة بسيطة للغاية، وضع ترمومتر نهايته سوداء في المنطقة المظلمة التي تلي اللون الأحمر في طيف الشمس فوجد أن درجة الحرارة ارتفعت ارتفاعًا محسوسًا، وكان ذلك يعني أنه توجد أشعة في هذه المنطقة، أشعة لا تراها العين ولكنها قادرة على رفع درجة حرارة الأجسام.

سميت هذه الأشعة تحت الحمراء، وقيست أطوال موجاتها وبرهن أنها تسير بسرعة الضوء المعتادة، وعلى ذلك فهذه الأشعة تدخل تحت التعريف الطبيعي للضوء من جميع الوجوه، ويمتد مجال الأشعة تحت الحمراء إلى مدى بعيد جداً، وفي الوقت الراهن رصدت أشعة من هذا النوع طول موجتها 0,3 مليمتر، وبالتالي فمدى هذه الأشعة يمتد من النهاية الحمراء للطيف المرئي والتي طول موجتها 750م μ على 300000م μ. (على

الأقل) ، ولكن ليس ذلك هو نهاية الطيف فالموجة الكهربية التي ترسل من محطات الإذاعة تنطلق أيضاً بسرعة تساوي 186000ميل في الثانية ولها صفات دورية وعلى ذلك يجب أن تضاف هذه الموجات كموجات ضوئية، والموجات الصناعية من هذا النوع يمكن الحصول عليها لمدى واسع من ناحية طول الموجة، من عدة كيلو مترات إلى جزء من المليمتر.

وعلى ذلك فمن النهاية الحمراء للطيف يمكن العثور على موجات مختلفة الطول بما في ذلك الموجات المستخدمة في اللاسلكي والتي يكاد طولها يكون لا نهائيًا، ولكن ماذا عن الجانب الأخير وهو المنطقة التي تلي النهاية البنفسجية؟ لا ترتفع درجة الحرارة ارتفاعاً محسوساً في هذه المنطقة إذا استخدمنا مصادر الضوء العادي، ولكن إذا وضع لوح فوتوغرافي فيها فإنه يسود عند التحميض، وهذه هي الطريقة التي يزاح بها الستار عن الأشعة فوق البنفسجية، وتوجد أيضًا طرق أخرى للكشف عن هذه الأشعة فتحت تأثير هذه الموجات تأخذ كثير من الأجسام في إرسال ضوء مرئي (الإضاءة الفلورسية) وكهارب (الكهروضوئية) ، أو تصبح موصلة للكهرباء، وعادة تعتبر المنطقة الفوق بنفسجية أنها التي تبدأ من النهاية البنفسجية للطيف المرئي (التي هي غير محددة بعض الشيء –حوالي 400م μ) وتتوغل بعيدًا في قطاع الموجة القصيرة إلى 10م μ على أقل تقدير، وليس هذا هو نهاية الطيف فبعد الأشعة فوق البنفسجية تأتي الأشعة التي اكتشفها رونتجن في نهاية القرن الماضي، ولها كما نعد الآن جميع خواص الأشعة الضوئية، وهذه الأشعة تظلم الألواح الفوتوغرافية مثلها في ذلك مثل الأشعة فوق البنفسجية، كما تسبب الإضاءة المرئية

والتأثيرات الكهربية، وأشعة رونتجن أو أشعة س) تشمل تقريباً (حسب الطرق العملية التي نحصل منها على هذه الأشعة) أشعة طول موجاتها من

$\frac{1}{10}$

1- إلى م μ.

ومع ذلك فليس هذه هي نهاية الطيف، فبعد أشعة س تأتي أشعة طول موجتها أقصر وتسمى أشعة جاما التي يشعها الراديوم ومواد مشعة أخرى، ولا يوجد مبرر نستطيع على أساسه رسم حدود لأشعة جاما، ومثل هذه الأشعة معروفة بطول موجة أصغر من 0,001م μ.

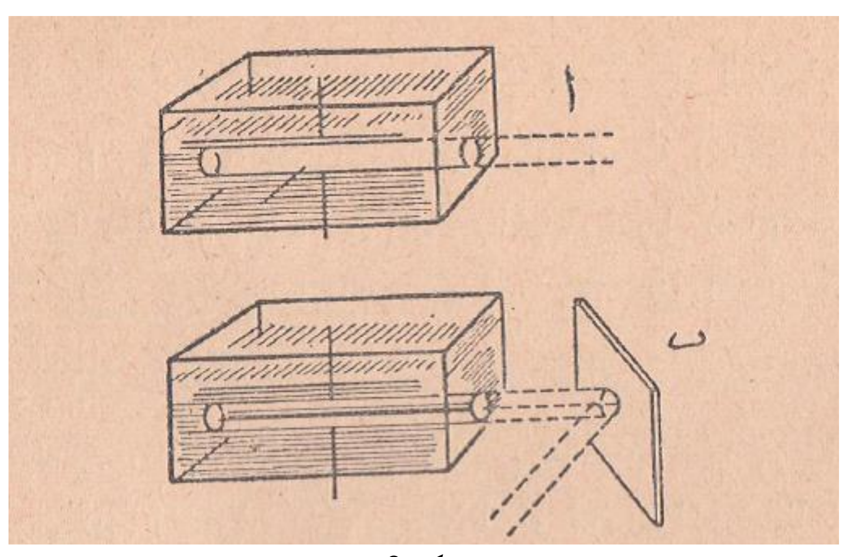
ويمكن القول بأنه توجد أشعة ضوئية يأخذ طول موجتها جميع القيم، من ما لا نهاية (تقريبًا) إلى الصفر (تقريبًا أيضًا) ، ويكاد المدى القصير للأشعة المرئية (من 400 إلى 700م μ) يضيع وسط هذا المجال الشاسع.

وللضوء صفات أخرى عجيبة لم نبحثها بعد، أجر التجربة الآتية: (شكل 9أ)، صب بعض الماء العكر عكارة بسيطة (مثلًا يعكر الماء بإضافة قطرة من اللبن إليه) في إناء زجاجي واجعل شعاعاً من الضوء المباشر للشمس يمر خلال الماء سيكون مسار الشعاع الضوئي مرئياً بوضوح كنتيجة لتشتت الضوء بالجسيمات العالقة، يبدو بديهياً لأول وهلة أنه يجب على الضوء أن يتشتت بالتساوي في جميع الاتجاهات سواء شاهدنا المسارات من أعلى الإناء أو من جوانبه، إذا استخدمنا شعاعاً مباشراً (عادياً) من ضوء الشمس فالواقع أن ذلك هو نفس ما يحدث.

والآن أجر تجربة ثانية (شكل 9 ب) ، اجعل الشعاع المباشر يسقط أولًا على لوح زجاجي بزاوية تساوي 54 تقريبًا، (الشعاع عمودي على مستوى الرسم) ثم ينعكس إلى الإناء الذي يحتوي على الماء العكر، إذا رصد مسار الشعاع الضوئي بدقة من جميع الجوانب ستلاحظ ظاهرة غريبة.

إذا نظرنا من الناحية الجانبية يظهر الضوء مشتتًا بدرجة كبيرة (سترى حزمة ضوئية ذات لمعان كبير نسبياً) بينما إذا نظرنا من أعلى سنجد أنه لا يكاد يوجد تشتت أو يكون مسار الشعاع في الماء غير مرئي بعد الانعكاس من المرآة حصل الضوء على صفة جديدة وغريبة جدًا لم يعد يؤثر إلى أعلى أو إلى أسفل وإنما جانبيًا فقط، والاتجاهات المفضلة للتأثير تظهر في المقطع العرضي للشعاع، يكتسب الضوء صفة الاستقطاب فكما أن القضيب المغناطيسي يكون تأثيره أكبر ما يمكن في اتجاه الخط الواصل بين القطبين.

ويكاد تأثيره ينعدم في الاتجاه العمودي على هذا الخط حيث نجد نفس الشيء بالنسبة للضوء في هذه الحالة، يتركز التأثير في المستوى الأفقي، وقد أطلق نيوتن لأول مرة اسم الاستقطاب على هذه الصفة (في الحالة الأكثر تعقيدًا لما يسمى بالانعكاس المزدوج لكربونات الكالسيوم الشفافة) ونتجت التسمية عن المقارنة بالمغناطيس، الشعاع الضوئي العادي هو مزيج من الأشعة المستقطبة في جميع الاتجاهات، وذلك هو السبب في عدم ملاحظة الاستقطاب، وعندما ينعكس الشعاع بالمرآة يكون للأشعة المنعكسة اتجاه استقطاب محدد.



(شكل 9)

استقطاب الضوء بعد الانعكاس

ونتيجة لذلك يصبح الاستقطاب ملحوظًا. وليست الأشعة المرئية هي فقط التي تتعرض للاستقطاب وإنما يتعرض لها كل ما يدخل تحت اسم الضوء من موجات اللاسلكي إلى أشعة جاما.

ولا يمكن لأعين أغلب الناس أن تميز بين الضوء المستقطب وغير المستقطب، ولكن حوالي 25– 30 في المائة من الجنس البشري يتميزون بهذه الصفة، فعند ملاحظة سطح يشع ضوءًا مستقطبًا يمكن لهؤلاء القوم أن يروا حزمة لونها أصفر شاحب كالليمون، وشكلها كمجموعة من عيدان القمح مثنية ثنيًا بسيطًا وذلك في مركز مجال الرؤية، وإذا أدير مستوى الاستقطاب فإنه يلاحظ أن هذه الحزمة تدور معه، عندما تأخذ الشمس

أوضاعًا معينة في السماء يكون الضوء الآتي من السماء مستقطبًا بشدة كنتيجة لتشتت أشعة الشمس بالجو، وعندئذ يمكن لأي شخص يتمتع بالصفة السابق ذكرها أن يرى حزمة صفراء خابية في السماء.

وفي سنة 1855م وصف ل.ن. تولوستوي هذه البقعة الصفراء التي تظهر في السماء نتيجة للاستقطاب بأسلوب رائع، ومع ذلك فيظهر أنه لم يكن يعلم بالمعنى الطبيعي لهذه الظاهرة التي لم يعرفها في ذلك الوقت إلا عدد قليل من العلماء (وصف هذه الظاهرة لأول مرة هايدنجر سنة 1846م) والسطور التالية من الفصل الثاني والثلاثين من كتاب «الشباب Youth» لتولوستوي هي مثال نادر للقدرة الفائقة لفنان عظيم على الملاحظة: «.... أجد نفسي وقد وضعت كتابي جانبًا وأخذت أنظر من خلال الممر المفتوح الموصل للفراندة إلى الفروع المتداخلة المنثنية لأشجار البتولا العالية حيث خيم عليها الليل الذي سيحل، وإلى السماء الصافية التي إذا نظر الواحد إليها بتركيز كافٍ ظهرت له فجأة بقع صفراء خافته ثم تختفي ثانية».

ونحن ننصح القارئ أن يفحص عينيه ويجرب رؤية حزمة الاستقطاب الصفراء في السماء وبهذه الطريقة سيجد بعض القراء على الأقل أن أعينهم لها صفة لم يكونوا يعلمون عنها من قبل، وأفضل ضوء لإجراء هذا الاختبار هو ما يحصل عليه بالانعكاس على زجاج جانبه الخلفي مطلي باللون الأسود، عندما تأخذ زاويتي السقوط والانعكاس قيمة معينة بسبب لوح من هذا النوع يبدو استقطاب الضوء بدرجة كبيرة.

وخلال السنوات الأخيرة وجدت طرق لعمل طبقات شفافة من أي حجم تسبب استقطابًا تامًا، وإحدى هذه المستقطبات قائمة على أساس إحدى اللدائن من كحول الفينيل، يؤثر ببخار اليود على طبقة رقيقة من كحول الفينيل ممتدة في اتجاه واحد، وبعد ذلك تبدأ هذه الطبقة في استقطاب الضوء استقطابًا كليًا، وفي الوقت الحاضر تستخدم المستقطبات بكثرة في المعامل وفي الهندسة وفي التصوير، وإذا نظر إلى أي سطح مضاء مثل السماء أو حائط خلال مستقطب فإن الحزمة الصفراء سترى دائمًا بشرط أن تكون عين الرائي قادرة على تمييز الضوء المستقطب، وإذا أديرت الطبقة المستقطبة فإن الحزمة تدور معها.

وستعود في القريب إلى التفسير الطبيعي لاستقطاب الضوء، ولكن دعنا الآن ننظر في خاصية عجيبة أخرى للضوء.

يسير الضوء في الأوساط المتجانسة في خطوط مستقيمة، وإذا وضع أي عائق صغير بين العين والمصدر المضيء فإنه يحجب الأخير عن النظر، ويكون ذلك هو الأساس الذي بنى القدماء عليه علم البصريات الهندسية المنظم، ولكن هذه الحقيقة في حد ذاتها ليست صحيحة دائمًا، انظر إلى ضوء ساطع من بعد 20 – 40 متراً خلال أصبعين قريبين من بعضهما البعض، بحيث يتركان فتحة صغيرة بينهما بدلًا من النقطة المضيئة سترى حزمة طويلة تقع عرضيًا بالنسبة للفراغ بين الأصبعين، وللحزمة نقطة ساطعة في مركزها وتتركب من شرائط طيفية معتمة ومضيئة على التوالي.

ولا يتفق ذلك على الإطلاق مع فكرة سير الضوء في خطوط مستقيمة، والظاهرة التي وصفناها الآن كانت بالطبع معروفة للإنسان منذ

عصور ما قبل التاريخ، ويمكن ملاحظة متناقضات أخرى مع مبدأ سير الضوء في خطوط مستقيمة عند النظر بأعين نصف مغلقة، وذلك نتيجة للفتحات التي تتكون من الرموش وهو الشيء المعلوم جيدًا للأطفال، وكان أول من نبه إلى أهمية هذه الحقيقة هو جريمالدي في القرن السابع عشر.

ويبين (شكل **10**) خمس صور فوتوغرافية لظل يد تحمل قرصًا مأخوذة عن تجارب أركاديف. والصورة الأولى (على اليسار) حصل عليها تحت الظروف الآتية، البعد أ لليد عن النقطة المضيئة كان حوالي مترين والبعد ب لليد عن الستار كان حوالي مترًا واحدًا، في الصورة الثانية كان أ+ب= **2**كم وفي الثالثة **7**كم وفي الرابعة **29**كم وفي الخامسة **235**كم.

وبينما يظهر الظل واضحًا في الصورة الأولى يأخذ بالتدريج في الحصول على أشكال غريبة في الصورة الأخرى: تظهر نقطة مضيئة بوضوح عند مركز ظل القرص بينما تأخذ خطوط مضيئة ومظلمة في الإحاطة بظل الذراع واليد، وعلى ذلك ففي هذه الحالات أيضًا نجد أنه لا محل لفكرة سير الضوء في خطوط مستقيمة، حسب قوانين الهندسة لا بد أن تعطي الأشعة المستقيمة الصادرة من مصدر ضوئي صغير بعد أن تسير مثل هذه المسافة ظلًا منتظمًا تمامًا، وعلى ذلك فعندما يمر الضوء خلال فتحات ضيقة أو عندما تقابله عوائق ذات حجم صغير في مساره، ينحني حول هذه العوائق، وقد سمى جريمالدي هذه الظاهرة بالحيود.

وقد كانت دراسة نيوتن للحيود دراسة مستفيضة كعادته، وعندما وجد أن الحيود لا يتوقف على مادة الفتحة أو الجسم استنتج أنه صفة أساسية للضوء ذاته.

وقد برهن فيما بعد على أن الحيود هو صفة مشتركة لجميع الأشعة الموجودة في الطيف من موجات اللاسلكي إلى أشعة "س" ، وكلما قصر طول الموجة أصبح من الضروري تضييق الفتحة وتصغير العائق لجعل الانحراف عن السير في خطوط مستقيمة والحيود ملحوظين.

لقد بحثنا بعض صفات الضوء ذات الأهمية البالغة والتي تعرفنا عليها بالتجربة: الدورية، السرعة، الاستقطاب، والحيود، وبأخذ هذه الصفات معًا نجد أنها جميعًا تقترح موضوع الفكرة العامة للضوء كسيل من الموجات ذات الذبذبة المستعرضة، ومع ذلك دعنا في الوقت الحالي نبتعد عن مثل هذه التعميمات وذلك إلى أن نكون قد تعرفنا على جميع الصفات الأساسية للضوء، والتي لم نبحث بعضها حتى الآن.

يأتي الضوء دائمًا من المادة، ويولد في المادة، ويختفي بعد امتصاصه في المادة وينتج تفاعل عن أي تقابل بين الضوء والمادة، فمن ناحية تعكس المادة الضوء وتكسره وتمتصه، ولها القدرة على إدارة مستوى استقطابه، ويبدأ فعل المادة على الضوء من بعيد، الأشعة القادمة من النجوم عبر الشمس من أبعاد تصل إلى ملايين الكيلومترات تنحرف انحرافًا ملموسًا عن مساراتها كما لو كانت الشمس تجذبها، ونتيجة لذلك تبدو النجوم وقد تغيرت مواضعها عن أماكنها العادية في السماء.

ومن ناحية أخرى عندما يقابل الضوء مادة يؤثر عليها بطرق متعددة، يبذل الضوء ضغطًا على المادة ولو أن مقدار هذا الضغط صغير جدًا، وقد يؤدي الضوء إلى تغيرات كيميائية في المادة (الألواح الفوتوغرافية، أوراق النباتات، تغير لون البشرة بضوء الشمس... إلخ) وقد يسبب الضوء إشعاع الإلكترونات وهي إحدى مكونات الذرة من المادة، ومرور الضوء قد يجعل المادة نفسها تشع الضوء (تشتت الضوء – الإشعاع الفلورسي– الإشعاع الفوسفوري) ، وأخيراً فامتصاص المادة للضوء يؤدي إلى ارتفاع في درجة الحرارة.

في بداية القرن الحالي قام م. بلانك باكتشاف عظيم الأهمية، وجد بلانك أنه لا يمكن للضوء أن يمتص أو يشع إلا بوحدات محددة تمامًا من الطاقة أسماها الكمات.

دعنا نعرض لإحدى حالات التأثير الكيميائي للضوء، فنتيجة لتأثير ضوء الشمس يصبح لون الورق أو النسيج المصبوغ باهتًا بالتدريج، فتركب الصبغة من جسيمات صغيرة جدًا هي الجزيئات موزعة توزيعًا منتظمًا على سطح النسيج، وجميع الجزئيات متشابهة تمامًا ويبدو أن نفس الضوء يسقط على كل جزيء، ومع ذلك فإن لون النسيج يخبو بالتدريج، أي أن الجزئيات تتفكك واحدًا فواحد.

وإذا كان الضوء يسقط بانتظام وجميع الجزيئات متطابقة فيجب أن نتوقع أنه إما أن تتفكك الجزيئات جميعها في الحال، وإما لا يتفكك أي منها على الإطلاق، أو أن التفكك يحدث فجأة بدون توقع بعد فترة معينة من الزمن عندما تكون الجزيئات قد امتصت كمية كافية من الطاقة،

والواقع أن هذه العملية بطيئة جدًا وتحدث بالتدريج، كيف نعلل ذلك؟ يبقى أمامنا الفرض إما بأن الجزيئات غير متطابقة وإما أن وجه الضوء الساقط غير منتظم، أي: الطاقة تتركز عند بعض النقط ولا توجد عند النقط الأخرى، ولا يوجد أي أساس للشك في تطابق الجزيئات التي يحصل عليها بالطرق الكيميائية.

وبالتالي نصل إلى أن وجه الحزمة الضوئية الذي يبدو متجانساً، هو في الحقيقة غير متجانس. تتركز طاقة الحزمة عند مراكز مضيئة تقع على مسافات من بعضها البعض.

وعند دراسة جميع تأثيرات الضوء، وليس التأثير الكيميائي فحسب توصل علماء الطبيعة إلى نتيجة عامة هي أن جميع هذه التأثيرات تحدث كما لو كانت جسيمات المادة لا يمكنها أن تمتص أو تشع الضوء إلا بكمات كاملة، وقد سمي كم الضوء بالفوتون.

ومقداركم من ضوء نقي تردد V في الثانية هو هـ Vحيث هـ قيمة ثابتة صغيرة جدًا ($6,62\times10^{-27}$ أي 6,62 مقسومة على الرقم 10 مضروبًا في نفسه 27 مرة)

من وجهة النظر هذه يصبح البهتان التدريجي للون النسيج مفهومًا تمامًا، فطاقة الفيض المضيء ليست منتظمة أو متصلة التوزيع ولكنها مركزة عند مراكز معينة تسمى الكمات، والجزيئات التي تتفكك هي فقط الجزيئات التي تقابلها كمات الضوء، وفي بعض الحالات يكون التعليل التالي صحيحًا، إذا كان مقدار الطاقة الممتصة في فترة زمنية معينة هو "ط"

، فإن عدد الجزيئات التي تتحلل يمكن إيجاده بقسمة الطاقة على طاقة كم واحد: $ن = \frac{ط}{هـ \nu}$

وقد ثبت بالتجربة صحة هذا الاستنتاج في الحالات البسيطة للتحلل الكيميائي نتيجة لتأثير الضوء. حيث تظهر الصفة الكمية المتقطعة لتأثير الضوء في جميع الأحوال: في رفع درجة حرارة الأجسام وفي التأثير الكهربي للضوء والإضاءة الفلورسية... إلخ.

ومن الجدير بالذكر أنه يمكن لعين الإنسان أن تشعر بتقطع الطاقة الضوئية حتى عندما يكون الفيض الضوئي ضعيفًا جدًا، وسنعود إلى هذه النقطة في الباب الأخير من الكتاب، التردد **V**لموجات اللاسلكي صغير نسبيًا، وعلى ذلك فالكم هـ **V** هو أيضًا صغير لدرجة متناهية، وفي هذه الحالة يكون من الصعب جدًا الشعور بالطبيعة المتقطعة للموجات، ومن ناحية أخرى فالأشعة "س" التي ترددها عالٍ جداً تكون كماتها كبيرة وتكون تأثيراتها الكمية واضحة وقاطعة.

وعلى ذلك يجب علينا الآن أن نضيف خاصية أخرى ذات أهمية كبيرة إلى قائمة الخواص الأساسية للضوء، وهي خاصية من الصعب ضمها إلى صفات الضوء السابق ذكرها، وبالرغم من أننا لم نفرغ بعد من ذكر خواص الضوء الأساسية المعلومة في الوقت الحاضر، فإننا سننتقل إلى محاولات لتفسير طبيعة جوهره، وهذا سيسهل بعض الشيء فهم وتذكر الظواهر.

أخذت الآراء غير المبينة على برهان عن طبيعة الضوء تظهر وترفض من زمن بعيد جدًا، وكثير من هذه الآراء لم يكن له أي أساس على الإطلاق، وكانت تدور أشياء غير معروفة: ظواهر لم تكتشف خواصها، وكانت هذه الآراء تخلط بين الضوء والرؤية مما أدى إلى نظريات غريبة مثل نظرية شعاع الرؤية التي بحثناها في مقدمة الكتاب، ومع ذلك فقد كانت بعض هذه الآراء قريبة لدرجة كبيرة من وجهات النظر التي يعتقد فيها الآن، حيث ينقل الضوء طاقة من الشمس إلى الأرض بعد أن يقطع مسافات كبيرة، لقد عرف القدماء أيضاً ذلك، أو بالأحرى أحسوا به.

كيف يمكن للطاقة أن ترسل لمسافات كبيرة؟ طرق الإرسال ليست بالعديدة، وأبسطها هو نقل الطاقة من مكان إلى آخر مع المادة، وطلقة البندقية هي نقل للطاقة الهدامة للبارود من الرامي إلى الهدف عن طريق الطلقة الطائرة، ويمكن أن تنتقل الطاقة مع المادة في فيض مستمر كما في حالة عواصف الجليد وجوهر هذه الطريقة هو نفس جوهر سابقتها، في كل من الحالتين تنتقل المادة مع الطاقة، ولكن توجد طريقة أخرى تسير الموجة في البحر حيث تدفعها الرياح وتتقدم إلى أن تنكسر في النهاية على الشاطئ وبذلك تعطى طاقتها، وإذا درسنا الموجات جيدًا فلن نجد صعوبة في ملاحظة أنه بالرغم من أن الموجة تتقدم على الماء فان الماء لا يتحرك معها، ولكنه يبقى في نفس مكانه فقط يرتفع وينخفض،تنتقل الطاقة من طبقة إلى طبقة دون أن تنتقل المادة، وتنتقل الطاقة الصوتية خلال الهواء بنفس الطريقة تماماً، حيث أن الموجة الصوتية ليست رياحاً وإنما هي ذبذبة متتالية لطبقات الهواء.

يقول لومونسوف في كتابه (مؤلف عن أصل الضوء) إذا انتقل الهواء من الأوتار كتيار بنفس السرعة التي تتحرك بها النغمة، أي بأكثر من 1000قدم في الثانية، فإن مثل هذه الموسيقى تكون قادرة على نقل الجبال من قواعدها (انتقال الطاقة عن طريق الأمواج لمسافة تتطلب وسطاً، والأوساط في الأمثلة السابقة كانت الهواء والماء) ، لا يمكن للصوت أن ينتقل في الفراغ الخالي من الهواء، ولا نعرف أي طرق أخرى لانتقال الطاقة، وعلى ذلك فالضوء الذي ينقل الطاقة من الشمس إلى الأرض يجب أن يكون إما تيارًا من الجسيمات أو مجموعة من الموجات في وسط ما، أو الاثنين معًا، وقد كانت مثل هذه الآراء منتشرة في صور مختلفة مع القدامى، وكان من المحتم أن تظهر هذه الآراء ثانية فيما بعد، وذلك عندما حاول علماء الطبيعة الجمع بين صفات الضوء المختلفة في نظرية منتظمة.

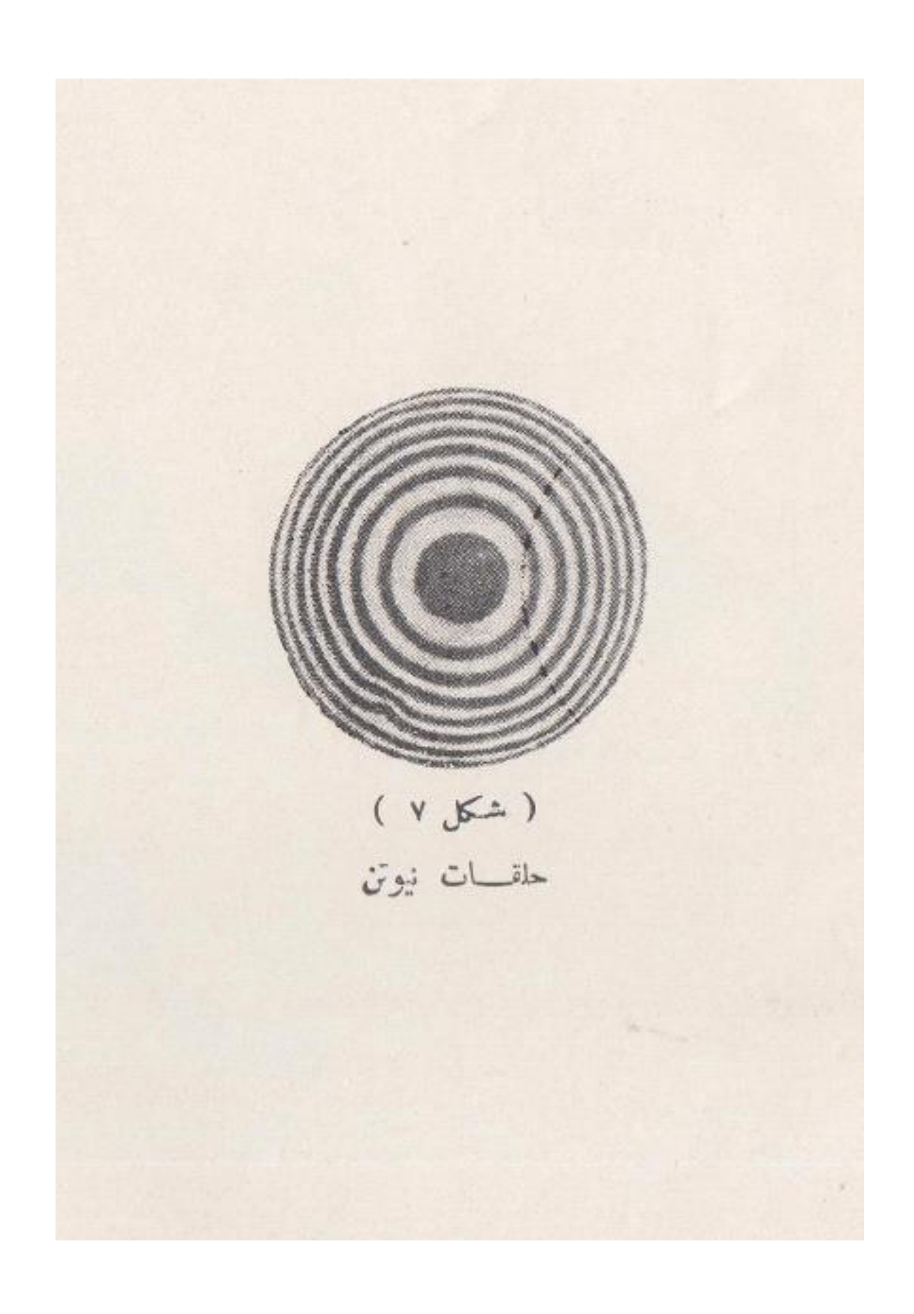
وقد فعل نيوتن كل ما يمكنه لكي لا يخلط بين الغرض غير المبني على أساس وبين الحقيقة الثابتة، ولكنه كان في أعمالة يعود مرات كثيرة إلى مسألة طبيعية الضوء، وكان يميل نحو نظرية إرسال الجسيمات، وكانت حجته الرئيسة ضد النظرية الموجية هي عدم وجود الوسط المادي (الأثير) في الفراغ الكوني، إن الكواكب تسير بمنتهى الانتظام دون أن تقابلها أي مقاومة محسوسة أو احتكاك في الفراغ الذي يحيط بها، وعلى ذلك فلا يوجد أساس للفرض بوجود أي وسط مادي بين الكواكب والشمس لكي تسير الموجات فيه، وكما أن الصوت يتوقف عن الوجود في إناء مفرغ من الهواء، فإن الذبذبات الميكانيكية الآتية من الأجرام السماوية المضيئة، لا

يمكنها أن تصبح موجات في الفضاء الخالي بين الكواكب، وتبعاً لنيوتن، فان الفرض بأن الضوء هو تيار من الجسيمات المادية المتناهية في الصغر الأكثر احتمالًا.

وتبعاً لنيوتن، قد تكون الصفة الدورية راجعة مثلًا إلى دوران الجسيمات، وبالتالي تكون المسافة التي يقطعها مثل هذا الجسم في زمن دورة كاملة هو (طول الموجة) ، وقد اعتبر نيوتن أن الاستقطاب صفة تختص بها الجسيمات الصلبة فقط، وإن هذه الخاصية هي برهان على أن الضوء يتركب من جسيمات دقيقة صلبة، وحاول نيوتن أن يعلل حيود الضوء بأن المادة تجذبه إليها أو تطرده عنها.

ولكن التراث الذي تركه نيوتن من التجارب احتوى على عقبة شديدة الصعوبة تقف أمام نظريته الميكانيكية لجسيمات الضوء، لا يوجد أدنى شك في أن حلقات نيوتن التي سبق الإشارة إليها (ص**30**) تظهر بين شعاعين يتقابلان بعد أن ينعكسا على المسطحين الموجودين أعلى وأسفل طبقة الهواء المحصورة بين العدسة والزجاج، ودعنا نعتبر شعاعين من هذا النوع (شكل**11**):

ينعكس الشعاع **1** على السطح الأعلى معطياً الشعاع المنعكس **1**، والشعاع **2** ، بعد أن يكون هذا الأخير قد عانى انكساراً على السطح الأعلى.



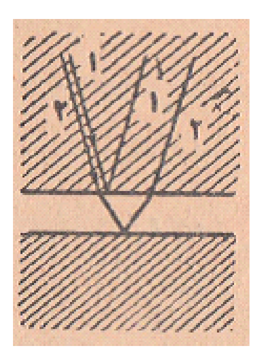
(شكل ٧)
حلقات نيوتن

وانعكاسًا على السطح الأدنى ثم عاد إلى العدسة ثانية هذه الأشعة تتقابل (تتداخل) وبالتالي ينتج عنها الشكل الثابت لحلقات نيوتن، والآن

دعنا نفترض مثل نيوتن أن الشعاعين 1 ، 2 هما مساران لجسيمات الضوء التي يرسلها مصدر مضيء دون نظام، كل جسيم مستقل تمام الاستقلال عن بقية الجسيمات، إذا استخدمت إضاءة ضعيفة جداً فلا بد أن نتمكن في النهاية من الوصول إلى حالة يصبح معها احتمال سير جسيمات في كل من المسارين 1 ، 2 احتمالًا صغيراً بدرجة يمكن إهمالها.

إذا كان نيوتن على حق فيجب أن تختفي الحلقات في هذه الحالة، حيث لا يوجد ما يمكن أن تتداخل فيه الجسيمات، ولكن تجربة حلقات نيوتن تعطي نفس النتيجة مهما كانت شدة الإضاءة منخفضة، فمثلًا من الممكن أن تكون شدة الإضاءة ضعيفة بدرجة أنه يلزم عدة أيام لتصوير الحلقات، ومع ذلك تكون هذه الحلقات محددة بنفس الدرجة في حالة استعمال إضاءة قوية.

لقد استلزم الأمر مرور مائة وخمسين عام قبل ثبوت إمكانية التغلب على الصعوبة في تفسير تجربة الحلقات وغيرها من ظواهر التداخل المشابهة، وذلك بافتراض أن الضوء هو حركة موجية، والواقع أن الموجات تخرج من المصدر المضيء في جميع الاتجاهات، وتحمل مقداراً من الطاقة في جميع أجزائها، مهما كانت الإضاءة، وبالتالي فإنه يمكن للشعاعين 1 ، 2 أن يتداخلا دائماً، وبالإضافة إلى ذلك فإن النظرية الموجية تعطينا نتيجة التداخل مقدماً وبدقة متناهية.



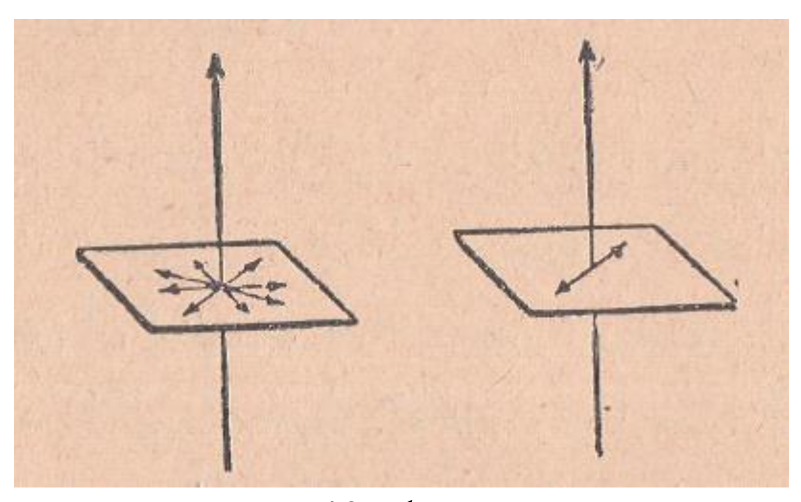
(شكل 11)

مسارات الأشعة

وإذا كان الفرق في الطول للموجتين عند نقطة تقابلهما هو... بحيث تقع قمة إحداهما فوق قاع الأخرى تماماً فإن كلًا من الموجتين تلامس الأخرى عند هذه النقطة وتكونان حلقة مظلمة، ومن ناحية أخرى ففي القاع المجاور حيث تأتي قمتا الموجتين معًا، تقوي كل من الموجتين الأخرى وتنتج حلقة مضيئة، ولاقت النظرية الجديدة لموجات الضوء نفس النجاح في تفسير جميع الظواهر المعقدة للحيود.

وتنبأت بحقائق لم تعجز التجارب عن إثباتها بجميع تفصيلاتها، وكذلك أعطيت النظرية الموجية تفسيراً واضحاً لاستقطاب الضوء، تبين ظاهرة الاستقطاب أن موجات الضوء هي موجات مستعرضة (أي أن الذبذبات عمودية على اتجاه الشعاع).

مثلها في ذلك مثل موجات الماء على سطح بركة، فالأشعة غير المستقطبة تتذبذب في جميع الاتجاهات حول الشعاع بينما تتذبذب الأشعة المستقطبة في اتجاه واحد فقط (شكل 12)،



(شكل 12)

الذبذبات في الأشعة المستقطبة وغير المستقطبة

ففي النصف الأول من القرن التاسع عشر انتصرت النظرية الموجية على نظرية الجسيمات لنيوتن نتيجة لأن دقة ما تنبأت به كان تامًا كمياً ونوعياً، ولكن هل كان هذا النصر نصراً مستقراً؟ يجب أن نتذكر أن الحجة الرئيسة لنيوتن ضد النظرية الموجية كانت عدم وجود الوسط الميكانيكي – (الأثير) في الفضاء بين الكواكب، هل هزم يونج وفرنل هذه الحجة؟ لا، لم يهزماها.

إن الصفات الموجية للضوء قد برهنت على وجود الأثير، حاول علماء الطبيعة في خلال القرن التاسع عشر بأكمله دون جدوى أن يجدوا برهاناً مباشراً على وجود الأثير، وعلى وجه الخصوص كانت التجارب على سير الضوء خلال الأجسام المتحركة قاتلة لنظرية الأثير، إذا وجد وسط ميكانيكي متحرك تسير فيه موجات الضوء فلا بد أن يكون دوران الأرض

حول الشمس مصحوباً بنوع من (الرياح الأثيرية) وهذه الأخيرة يجب أن تؤثر على الظواهر البصرية، ولكن لم يثبت وجود مثل هذه (الرياح) عملياً وبالتالي فإما أن يكون الأثير غير موجود وإما أن يكون له صفات نوعية ليست مألوفة على الإطلاق في الظواهر الميكانيكية، وبالرغم من ذلك فقد حصلت النظرية الموجية على تأييد غير متوقع على الإطلاق من مجال الظواهر الكهربية والمغناطيسية، حيث ثبت بالتجربة أن الاضطرابات الكهربية والمغناطيسية تسير بسرعة الضوء إذ إن هناك تلك العلاقة بين الحالة الكهربية والمغناطيسية وهي لها شروط معينة يتحتم معها انبعاث موجات كهرومغناطيسية في الفضاء.

تنبأ ماكسويل نظرياً بهذه الموجات وأثبت هرتز وجودها بالتجربة وكان بوبف هو أول من اكتشف كيفية استخدام الموجات الكهرومغناطيسية كأداة قوية لإرسال الإشارات للمسافات البعيدة، ووجد بذلك الراديو، وبرهن ب.ن. لنبييف وعلماء آخرون أن للموجات الكهرومغناطيسية جميع صفات الضوء التي كانت معروفة في ذلك الوقت – فهذه الموجات يمكن عكسها وكسرها واستقطابها كما أنها كانت قادرة على الحيود، وعن هذا الطريق اكتشفت خاصية جديدة للضوء وجد أنها ظاهرة كهرومغناطيسية، وقد فسر ذلك التأثير المتبادل بين الضوء والمادة، وكما نعلم جيداً الآن، تبنى المادة من جسيمات مشحونة بالكهرباء هي نويات موجية يحيط بها كهارب سالبة الشحنة، يجب أن تتولد عن حركة هذه الجسيمات موجات كهرومغناطيسية، أو بعبارة أخرى ضوء، ومن

ناحية أخرى عندما تصيب الموجات الكهرومغناطيسية الذرات والجزيئات فإنها تجعل الجسيمات المشحونة تتحرك، فتتشتت طاقة الموجات وتمتص.

والآن فلنعد إلى صعوبة الأثير، في نظرية الموجات الميكانيكية للضوء لا يمكن الاستغناء عن الأثير أبداً، وبدون وسط (أي بدون أثير) لا يمكن أن توجد موجات ميكانيكية كما لا يمكن أن يوجد صوت إذا لم يوجد هواء أو وسط ما آخر، ولكن الحالة أصبحت مختلفة تمامًا بمجرد البرهنة على أن موجات الضوء هي موجات كهرومغناطيسية، فبغض النظر عن وجود الأثير أو عدمه، نجد من تجارب مباشرة ومعروفة تمامًا أن الأجسام المشحونة تحيط بها مجالات كهربية، وتبعاً لقوانين الكهرومغناطيسية، إذا بدأت الشحنة في الحركة فلا بد أن تظهر موجات كهرومغناطيسية، وهذه الموجات لا بد أن توجد ما دام المجال الكهربي موجوداً، وطبعًا قد يسأل سائل عما إذا كان يمكن تفسير المجال الكهربي ذاته بدون فكرة الأثير والإجابة الوحيدة لهذا السؤال هي أن المحاولات العديدة لاستنتاج قوانين الكهرباء والمغناطيسية من مبدأ الأثير الميكانيكي، بما في ذلك تجارب ماكسويل نفسه وهى أول هذه التجارب، قد باءت بالفشل حتى الآن.

وبغض النظر عن ذلك، فقد بدا في نهاية القرن التاسع عشر أن النظرية الموجية للضوء المبنية على الكهرومغناطيسية، أنها قد تثبت دون أدنى شك، فبمجرد أن اتضح أن طبيعة موجات الضوء ليست ميكانيكية فقدت حجة نيوتن عن عدم وجود الأثير مغزاها.

من هنا يبدو أن النظرية الموجية قد كسبت انتصارها الأخير، وأن جميع ما يتعلق بعلم البصريات قد نظم وعلل، ولكن هذا النصر لم يستمر إلا فترة قصيرة، فبعد أقل من خمسة أعوام على اكتشاف الراديو، اكتشفت قوانين الكم الخاصة بتأثير الضوء (ص44) ، وهذه القوانين كانت غير مقبولة على أساس النظرية الموجية، إذ كيف يمكن للطاقة أن تمتص بوحدات كاملة إذا كانت محمولة على موجات مستمرة؟ لقد مضى ثلاثون عامًا ولم يمكن التغلب على هذه الصعوبة بعد، لم تتمكن النظرية الموجية من الإجابة عن هذا السؤال حتى اليوم.

حيث تقف النظرية الموجية مكتوفة اليدين أمام قوانين الكم لتأثير الضوء، ويجعلنا هذا المأزق نسترجع ما قاله لومونوسوف في كلامه عن نظرية الجسيمات (يكون المأزق هو عادة الباب المجاور للمستحيل).

ومن ناحية أخرى، فقد كانت نظرية الجسيمات (المستحيل) هي التي أصبح لها الآن أفضل فرصة للاعتراف بها، حيث لم تقابلها أية صعوبة من الصعوبات التي خلقها الأثير، ويمكن لجسيمات الضوء أن تسير في الفراغ ولا تحتاج للأثير كما تؤيد قوانين الكم نظرية نيوتن تأييداً تامًا، إذ تمتص الجزيئات الضوء بكميات كاملة لأنها إما أن تصطدم بجسيم كامل وإما لا تصطدم به على الإطلاق ولهذا السبب نجد أنه في التغيرات الكيميائية التي يسببها تأثير الضوء لا تتحلل جميع الجزيئات فوراً، وإنما يتحلل منها ما يصطدم بكم أو جسيم، عندما تضعف من لمعان الموجات تقلل من سعتها ومن توترها بينما عند الإقلال من سيلان الجسيمات لا تغير من تأثير كل جسيم وإنما تقلل من عدد هذه التأثيرات فقط، ولا

تؤدي قوانين الكم لتأثير الضوء بالنسبة لنظرية الجسيمات إلا إلى أن الضوء يسير بكميات (أو جسيمات) كاملة.

ولكن نظرية الجسيمات التي عادت للظهور ما زالت غير قادرة على تفسير التداخل والحيود وخواص الضوء الأخرى التي زالت الصعوبات المتعلقة بها أتوماتيكيًا بواسطة النظرية الموجية.

وكانت الحالة التي نشأت نتيجة لذلك في علم البصريات غير محتملة على الإطلاق، وكان علماء الطبيعة معذورين في تكرار الكلمات الحزينة التي ذكرها لومونوسوف لأول مرة بخصوص نظرية الضوء، وهي الكلمات التي اقتبسناها في أول هذا الباب، أخذ كل من الاتجاهين المختلفين تمامًا عن طبيعة الضوء يقوى في حدود مجاله هو ولكنهما بقيا قاصرين كل بالنسبة لمجال الآخر.

وقد ظهر بصيص من الأمل لحل هذه الصعوبة من ناحية غير متوقعة، دعنا نتذكر كيف توصلنا إلى الاستنتاج بأنه توجد فكرتان محتملتان للضوء، بدأنا من المشاهدات اليومية المعتادة التي بينت أن الطاقة لا يمكن أن تنتقل ميكانيكيا إلا بإحدى طريقتين: إما عن طريق الجسيمات وإما عن طريق الموجات، وطبعًا من الممكن أن تنتقل الطاقة من خلال الطريقتين معاً، ولكن هذه الطرق الثلاثة هي الوحيدة التي يمكن (تصورها وفهمها).

الميكانيكا الكلاسيكية، التي وضع أساسها نيوتن، مثلها في ذلك مثل الضوء هي تصميم رياضي للخبرة التي نكتسبها بالعادة، ونتائج هذه الميكانيكا فيما يختص بالطرق الممكنة لانتقال الطاقة مسافات كبيرة لا تختلف عن استنتاجاتنا البسيطة، وتبعاً لما نطلق عليه (الطبيعة الكلاسيكية)

تكون قوانين نيوتن هي حقائق مؤكدة لا يتطرق إليها أدنى شك، وهذا التأكيد تولد عنه العلم الطبيعي (الميكانيكي) الذي حاول أن يفسر الظواهر الطبيعية عن طريق حركات الجسيمات التي تتماسك مع بعضها بواسطة قوى معينة والتي تتبع قوانين نيوتن، حيث كانت الثقة في عدم خطأ هذه القوانين مبنية في الدرجة الأولى على إمكان فهمها، وعلى اتفاقها التام مع الأفكار المتوغلة في العلم التي اعتمدناها وفي الدرجة الثانية على نجاح الميكانيكا الكلاسيكية في جميع مجالات العلم الطبيعي والهندسة، ومع ذلك فهذه الحجج المؤيدة بقوانين نيوتن هي أبعد ما تكون عن الكمال، فنحن نقول إن هذا الأمر يمكن فهمه إذا كان يتفق مع ما تعودنا عليه، فمثلًا نحن نقارن بين ذرة طائرة ورصاصة طائرة وبالتالي نضع الذرة في إطار صورة الرصاصة التي هي أكثر اعتيادًا.

ولكن من الواضح لأي شخص أن الحقيقة هي أن الرصاصة معقدة جداً عن الذرة، وأننا في تشبهنا السابق (اختصرنا) شيئاً أبسط إلى شيء آخر أكثر تعقيدًا ولكنه أكثر اعتياداً، وإمكانية فهم القوانين والظواهر ليست برهانًا على بساطتها الفعلية أو صدقها، ومن ناحية أخرى يتطور الإنسان بمرور الزمن وتتغير عاداته، والشيء الذي كان غير مفهوم من قبل يصبح واضحاً بالتدريج، أفكارنا المألوفة تناظر لدرجة كبيرة التتابع الحقيقي للظواهر، وكلما تطور الإنسان اقترب أكثر فأكثر من فهم الحقيقة، ولكن الادعاء بتطابق أفكارنا تطابقًا تاماً مع الحقيقة المطلقة يعنى إنكار حقيقة غير قابلة للشك وهي أن الجنس البشرى يتطور باستمرار، وبالاختصار

الاعتقاد بميكانيكية الطبيعة وبصحة قوانين نيوتن في جميع الأحوال مبني في الدرجة الأولى على أساس غير متين هو (العادة).

عند نهاية القرن التاسع عشر وبداية القرن العشرين اكتشفت تناقضات داخلية لا يمكن التغلب عليها لا في الظواهر الضوئية فحسب وإنما في خواص المادة أيضاً، فقد وجد أن كتلة الجسم تتوقف على سرعته، وحين فكر في الحيز والزمن وجد أنهما يحتاجان إلى تعديل، فقد ظهر علماء في الطبيعة وفلاسفة أخذوا يتحدثون عن (العدول عن مادية المادة) قائلين إن المادة قد اختفت ولم تبق إلا المعادلات التي أدت حقيقة إلى أن المادية الميكانيكية الميتافيزيقية، وقد بدأت تقابلها الصعوبات والتناقضات في خلال تطورها المتناسق، كما أدت هذه الحقيقة إلى أن يغير بعض العلماء موقفهم وينتقلوا انتقالًا صريحاً أو غير صريح إلى غموض المثالية والصوفية، وقد ساعدت على ذلك أيضاً الظروف الاجتماعية للعالم الرأسمالي المنهار، إن غموض المثالية هو أحد الوسائل التي تخفي عنف وإجرام وعدم الاستقرار للمجتمع الرأسمالي عن الإنسانية المتقدمة.

لكن المادية الجدلية تغلبت على المادة المثالية التي كان عصبها يعتبر هو (الطبيعة الكلاسيكية) والمثالية الطبيعية التي نشأت عنها، فالمعالم الأساسية للطريقة الجدلية لدراسة الكون هي أنها تنظر للكون ككل مترابط ومتكامل في حالة حركة وتغير مستمرين، أي ظاهرة في أي مجال من مجالات الكون تصبح لا معنى لها بالنسبة لنا إذا لم ننظر إليها آخذين في اعتبارنا الظروف المحيطة، وعلى عكس الميتافيزيقا تأخذ الجدلية بوجهة النظر التي تقول بأن التناقضات الداخلية موجودة في جميع الأشياء

والظواهر الطبيعية، لأن كلًا منها له نواحيه الإيجابية وجوانبه السلبية، وكل منها له ماضٍ ومستقبل، شيء يتلاشى وشيء يتطور، وفي رأي فلاسفة المادية الجدلية، إن الفكرة الميتافيزيقية الميكانيكية للمادة يجب أن تستبدل بالفكرة الجدلية الواسعة التي تعتبر المادة كحقيقة موضوعية، ومثل هذه الفكرة لا بد أن تحتوي على خاصية من خواص الطبيعة بمتناقضاتها وتعقيداتها بشرط وجود هذه الصفة حقيقة.

من وجهة النظر هذه يكون التناقض (الذي لا يمكن اجتيازه) بين الصفات الموجية والصفات الجسيمة للظواهر الضوئية التي نشأت عن تطور علم البصريات، ويكون هذه التناقض دليلًا جديداً لجدلية الطبيعة ولحقيقة وحدة المتضادين تبعًا للطبيعة الكلاسيكية، والمبدآن الميكانيكيان المبسطان عن الموجات المتصلة والجسيمات المنفردة لا يتفقان مع بعضهما على الإطلاق، ولكن هذين المبدأين يسيران جنبًا إلى جنب دون تناقض في الظواهر الطبيعية، وهذه الوحدة المتناقضة غير المألوفة تظهر بدائية وعدم كفاية أفكارنا الميكانيكية، إن مادة العلم الحقيقي اعتقاد وخبرة طويلة.

لقد أيد تقدم العلم ذلك فالنتائج التي توصلت إليها الميكانيكا الكلاسيكية والتقدم في الطريقة التجريبية الذي وصل إلى حد الكمال، انتهيا إلى عجز هذه الميكانيكا أمام حقائق جديدة، فنحن نتصور العالم المادي الموجود – المادة المتحركة – في صورتين أساسيتين، كمادة وكضوء، وبالتدريج وصلنا إلى الاعتقاد الجازم بأن المادة في جميع أشكالها تتركب من إلكترونات سالبه الشحنة وبروتونات موجبة الشحنة ونيوترونات غير مشحونة على الإطلاق، لهذا السبب بدت المادة أسهل في الفهم من

الضوء الذي له صفات الموجات والجسيمات معًا، بينما الحركة هي صفة لا يمكن فصلها عن الضوء؛ وبينما تبدو فكرة الضوء غير المتحرك فكرة سخيفة وغير مقبولة، فإن الطبيعة الميكانيكية لا تعترض على (المادة في حالة سكون) الموجات لا يمكن تصورها دون حركة، عندما يذكر أحد المشتغلين بعلم الطبيعة عبارة (الأمواج الساكنة) يعنى نتيجة تحصيل حركتين موجيتين متماثلتين تسيران في نفس الوقت في اتجاهين متضادين، وعلى العكس من ذلك يمكن تخيل جسيم منفرد وهو في حالة سكون مطلق. ولكن من وجهة نظر المادية الجدلية – إذا فصلنا المادة عن الحركة، وهي صفتها الملازمة فان المادة تصبح شيئًا مجردًا بحتًا، وفي الحقيقة إن هذا هو الواقع كما بينت التجارب الحديثة المدهشة وغير المتوقعة، وجد من التجارب التي أجريت لأول مرة منذ حوالي ربع قرن أنه عندما تقابل تيارات من الإلكترونات والفوتونات والجزيئات عوائق صغيرة، أو عندما تمر هذه التيارات من فتحات ضيقة في مسارها وجد أنها تحدث ظواهر حيودية محددة مثلها في ذلك مثل الضوء تمامًا، أي أن لها نفس الخاصة الموجبة التي للضوء.

ويبين (شكل13) الحيود الناتج عن مرور الإلكترونات خلال طبقة رقيقة جدًا من الفضة مكونة من بللورات ميكروسكوبية، في هذه الحالة ليس الحيود بأقل تحديدًا عنه في حالة الضوء وهو برهان جيد على الطبيعة الموجبة للإلكترونات، أي الطبيعة الموجية للمادة.

ويمكن الآن قياس أطوال (موجات المادة) هذه بدقة كبيرة، وقد وجد أنها تساوي $\frac{\text{هـ}}{\text{كع}}$ حيث هـ هو نفس الثابت الذي قابلنا عند دراسة خواص الضوء (ص**44**) ك كتلة الجسيم، ع سرعته.

ويتضح من الافتراض بأن الجسيمات الأولية – الإلكترونات الذرات والجزيئات – ليست هي فقط التي تناظر الموجات، وإنما هي كذلك توجد أسس قوته وتؤكد أن أي تراكم فردي للمادة، سواء أكان ذلك رجلًا أم قطارا، أو الشمس يمكن وصفه بدلالة موجة تناظر كتلته وسرعته.

ومن الصعب الإشارة إلى أي اكتشاف آخر في تاريخ العلم الطبيعي المضبوط لم يستطع التنبؤ به ويتعارض مع الأفكار المألوفة مثل هذا الاكتشاف.

وقد حدث في الميكانيكا نفس ما حدث في الضوء، كان علم الضوء القديم يعتبر حركة الضوء كمجموعة من الأشعة تسير في خطوط مستقيمة، ولكن ظاهرة الحيود أوضحت أن الضوء هو حركة موجية تشبه في سلوكها سلوك حزمة من الأشعة، إذا لم يقابلها عوائق أو فتحات صغيرة في مسارها. كانت البصريات الموجية مختبئة وراء بصريات الأشعة الهندسية، وكانت ميكانيكا نيوتن (ميكانيكا أشعة) ولكن الاكتشافات التي حدثت الآن برهنت على أنها تخفي وراءها ميكانيكا أعم هي (الميكانيكا الموجية).

ولكن (موجات المادة) لا يصح أن نطابقها بموجات الضوء، لقد رأينا أن لموجات الضوء طبيعة كهرومغناطيسية، الشيء الذي لا يمكن قوله بالنسبة لموجات المادة، فالأخيرة تنطبق عضويًا مع المادة والجسيمات التي تكونها بينما موجات الضوء تشع وتعطى بالمادة ولها خواص مختلفة تمامًا.

ومن الخطأ أيضًا أنه استبدل بنظرية الجسيمات نظرية أصح منها هي نظرية الموجات، ووجود جسيمات المادة، الذرات والإلكترونات في المواد، والكميات في الفيض المضيء هو أمر صحيح كوجود موجات المادة والضوء، وقد كانت هناك محاولات لاعتبار المادة تركيبًا ميكانيكيًا من الجسيمات والموجات، في هذا النظام لا تلعب الموجات إلا دور الدليل، فتوجه الجسيم حسب قوانين سير الموجات ولأول وهلة يبدو أن العكس الميكانيكي ممكن أيضًا، وتبعًا لهذا العكس تنشأ الموجات في الأثير بواسطة الجسيمات بنفس الطريقة التي ترتفع بها الأمواج وراء السفينة نتيجة لسيرها، ولكن هذه الفروض أدت إلى نتائج لا تتفق مع الواقع في شيء.

ويوجد رأي واسع الانتشار بأنه في بعض التجارب (في تجربة حلقات نيوتن مثلًا) يكون سلوك الضوء كلية كحركة موجية، بينما في تجارب أخرى (كبهتان للنسيج المصبوغ) يكون سلوكه كمجموعة من الجسيمات فقط، وهذا في الواقع خطأ، إذا أجريت تجربة نيوتن بضوء ضعيف جدًا فمن الممكن تحت شروط معينة ملاحظة تذبذبات إحصائية غير منتظمة للمعان الحلقات المضيئة، الأمر الذي يبين أنه في هذه الظاهرة الموجية تكون الطاقة الضوئية مركزة عند مراكز مفردة هي الفوتونات، ومن ناحية أخرى

إذا أثرنا على نسيج مصبوغ بضوء يمر خلال فتحات ضيقة ستظهر صور حيودية عند بهتان لون النسيج.

(المادة) أي المحسوسات والضوء لها صفات كل من الموجات والجسيمات معًا، ولكن في المجموع المادة ليست موجات وليست جسيمات وليست مزيجًا من الاثنين، أفكارنا الميكانيكية ليست قادرة على استيعاب الواقع كاملًا وليست هناك صورًا مرئية لتساعدنا.

في الوقت الحاضر، استنتجت نظرية رياضية للضوء تجمع تقريبًا جميع الظواهر المعروفة، ومع ذلك فلا تزال هذه النظرية مجردة للغاية وغير شاملة (بمعنى أنه لا توجد صورة مرئية).

يمكننا الآن أن نعود إلى الصعوبة التي قابلتنا في أول هذا الباب، من المحتمل أن القارئ لم ينس المتاعب التي تكبدناها في محاولة تعريف الموضوع الذي يشمله علم الضوء، هل أصبحت هذه المسألة أكثر وضوحاً الآن؟ الإجابة هي نعم من ناحية المبدأ، لقد وجدنا بالتدريج الصفات الموضوعية الرئيسة للضوء وهى الصفات التي تميزه عن أنواع المادة الأخرى، ولكن التطبيقات العلمية لهذه الصفات المميزة، وعلى الخصوص عندما تؤخذ معاً، لا تزال من الصعوبة بمكان في بعض الحالات.

عند نهاية القرن الماضي لم يتمكن علماء الطبيعة لوقت طويل من الوصول إلى قرار فيما إذا كانت أشعة المهبط مادة أم ضوءاً، وقد حلت هذه المسألة عندما ثبت بالتجربة أن لأشعة المهبط شحنة سالبة، وقد نظر أيضاً بعين الشك لمدة طويلة لحقيقة أن أشعة "س" لها نفس طبيعة الأشعة الضوئية، ولم يتفق علماء الطبيعة على صحة هذا الأمر إلا بعد أن شوهد

حيود الأشعة السينية في سنة 1913م، ومع ذلك فقد كان الواجب اختبار صحة هذه النتيجة ثانية بعد أن وجد أن الحيود يتم لتيارات الجسيمات غير المشحونة مثل النيوترونات، وعلى أيه حال فان الأمر الوحيد الذي يثبت الطبيعة الضوئية للأشعة السينية هو مجموع الظواهر المختلفة التي تبين الصفات الكهرومغناطيسية لهذه الأشعة.

وخلال عشرات السنين، استمر العلماء يغيرون من آرائهم بالنسبة لطبيعة ما يسمى بالأشعة الكونية، وهى الأشعة التي تصل إلى الأرض باستمرار من الفضاء الكوني في جميع الاتجاهات، والتي لها مقدرة عظيمة على الاختراق، ومنذ حوالي العشرين عامًا كان المفروض أنه قد ثبت أن الأشعة الكونية أغلبيتها أشعة ضوئية ذات طول موجة صغيرة جداً، وهي في المتوسط أقصر من طول موجة أشعة جاما التي تشبه الراديوم، ومع ذلك فقد برهن فيما بعد أن المجال المغناطيسي للأرض يحرف الأشعة الكونية وبالتالي فهي تتكون من جسيمات مشحونة بالكهرباء، وقد افترض أولًا أن الأشعة الكونية الابتدائية تتكون من الإلكترونات، ولكن الدراسات الحديثة التي أجريت في الطبقات العليا من الجو، وعلى الخصوص التجارب التي أجراها العلماء السوفييت، قد برهنت برهاناً قاطعاً على أن الأشعة الكونية الابتدائية تتكون في أغلبيتها من بروتونات موجبة الشحنة، ويجب أن نتذكر أن للأشعة الكونية سرعات كبيرة جداً تكاد تقترب من سرعة الضوء.

تبين هذه الأمثلة بوضوح درجة الصعوبة التي يتضمنها البرهان العملي على أن ظاهرة معينة هي ظاهرة لها طبيعة ضوئية.

كلما تعمق البحث العملي في دراسة الظواهر الطبيعية اتضح أكثر فأكثر أننا لم نصل بعد تماماً إلى معرفة جوهر المادة الفعلية في صورها المختلفة سواء كانت محسوسات أو ضوءًا، بالرغم من كثرة عدد الصفات المشتركة (صفات الموجات والجسيمات، قوانين الكم) فحتى الآن كنا نعتبر أن كلًا من الضوء والمحسوسات في الجوهر غير متجانسة.

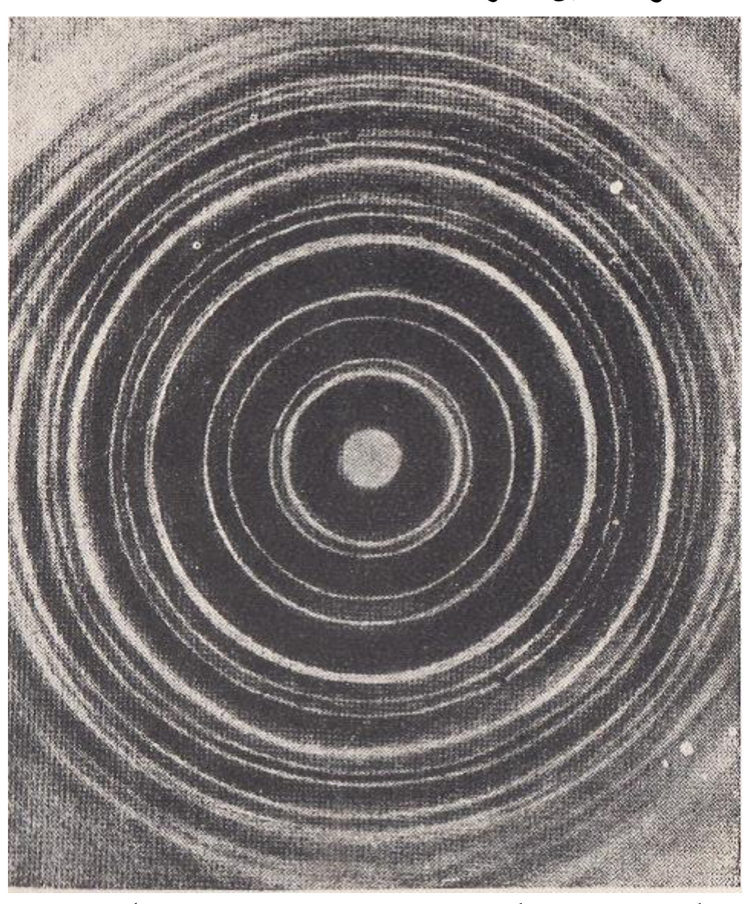
واختلافهما يشبه بالتقريب اختلاف الصوت عن القيثارة التي ترسله أو اختلاف موجات اللاسلكي عن الراديو الذي يرسلها.

ولكن منذ حوالي خمسة وعشرين عامًا اكتشف اكتشاف هام آخر في علم الضوء.

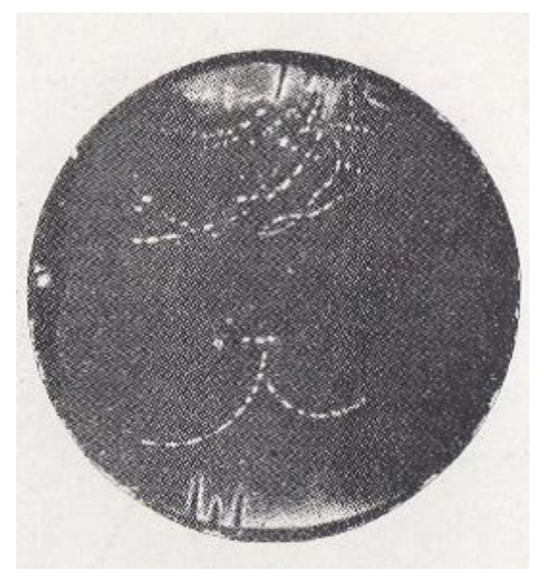
على أساس النظرية الرياضية التي ذكرت فيما سبق، توصل صاحبها ديراك إلى نتيجة نظرية هي أنه تحت شروط معينة يجب أن يتحول الضوء إلى مادة وبالعكس، وتبعاً لديراك يمكن لكمات الضوء التي لا يزيد طول موجتها $\frac{1}{100}$م μ إذا وجدت في المجال الكهربي القوي لنواة الذرة، يمكن لها أن تتفكك إلى جسمين بشحنتين متضادتين هما: الإلكترون والبوزيترون، وبالرغم من أن هذا الرأي قد أثار دهشة كبيرة فإنه ثبت ثبوتاً كلياً بالتجربة، ثبت بالتجربة أن الضوء يتحول إلى مادة محسوسة، وفي شكل (14) نرى صورة لهذه العملية المدهشة، ويعتمد إمكان أخذ مثل هذه الصورة على حقيقة أن الجسيمات المشحونة ذات السرعة الكبيرة عند مرورها في الهواء المشبع ببخار الماء تترك آثاراً تتكون بواسطة الماء المتكاثف والجسيمات المختلفة الشحنة: الإلكترون والبوزيترون يمران خلال مجال

مغناطيسي قوي، ونتيجة لتأثير هذا المجال يثني مسار كل منهما في اتجاهين متضادين.

تبين الصورة الظاهرة العجيبة لتحويل شعاع جاما ذي الطبيعة الضوئية إلى جسيمين من جسيمات المادة، حقاً إن هذا ليشبه تقريباً تحول النغمات الموسيقية إلى قيثارة.



(شكل 13) حيود الإلكترونات عند مرورها خلال طبقة رفيعة جدًا من الفضة



(شكل 14) تكوير ازدواج إلكترون – بوزيترون من كم ضوئي جامي في المجال المغناطيسي (العلوي) ينحرف البوزيترون إلى اليسار بينما ينحرف الإلكترون إلى اليمين (أخذ الصورة أ.ف.جروشيف ، أ.م.فرانك).

وحتى الآن لا توجد لدى العلم وسيلة لشرح هذه الظاهرة إلا نظرية ديراك الشكلية، وهى بالتالي نظرية غير كافية، وبالرغم من هذا النقص فقد أزيح الستار عن ارتباط وثيق وغير منتظر بين الضوء والمادة المحسوسة، سيطر الإنسان به على جانب آخر من جوانب الكون.

لقد تتبعنا تاريخ البصريات خطوة فخطوة مبتدئين بالإحساس البصري الذاتي للون والإضاءة وأخيرًا وصلنا إلى الحالة المعقدة التي هي طابع علم الضوء الموضوعي اليوم، وربما يرى القارئ نفسه غير راضٍ عن النهاية التي صارت إليها قصة التطور الخاصة لوجهات النظر المختلفة عن طبيعة الضوء، فاللغز لما يحل بعد، بل ازداد تعقيداً عما كان يبدو عليه في عهد نيوتن ولومونوسوف ولا غرابة في ذلك فهذا هو المصير المحتوم لكل

فرع من فروع العلم الحقيقي، كلما اقتربنا من الحقيقة زاد تعقدها تأكدًا واتضح عدم شمولها، والحق أن العلم في كفاحه الذي لا يهدأ في سبيل الوصول إلى الحقيقة يكسب بعض المعارك ولكنه لا ينتصر انتصاراً نهائياً، ومع ذلك فان هذا الكفاح الدائب له دائماً ما يبرره مما لا يمتري فيه اثنان، فالإنسان في كفاحه لإدراك طبيعة الضوء قد توصل إلى اكتشاف الميكروسكوب والتلسكوب وجهاز إظهار المدى والراديو والأشعة السينية، كما أدت بحوثه في هذا المجال من التمكين له من استخدام الطاقة الذرية.

والحق أن الإنسان في سعيه وراء الحقيقة يمكن لنفسه من توسيع سلطان سيطرته على الطبيعة سيطرة تجاوز كل حد – وهذا في الواقع – هو الهدف الحقيقي للعلم، لا مرية في أن تاريخ دراسات الضوء في طبيعته وجوهره لما يصل بعد إلى غايته، ولا شك أن العلم ما يزال ينتظر اكتشافات جديدة في هذا المجال المستقبل، تقربنا من الحقيقة النهائية، وتكسب العلوم الهندسية وسائل وطرقًا جديدة.

الشمس

الشمس هي في مركز كل شيء، وكان من المستحيل على
أي فرد أن يختار مكانًا لهذا الجرم المضيء أفضل من
موضعها الذي تضيء منه كل شيء بانتظام،

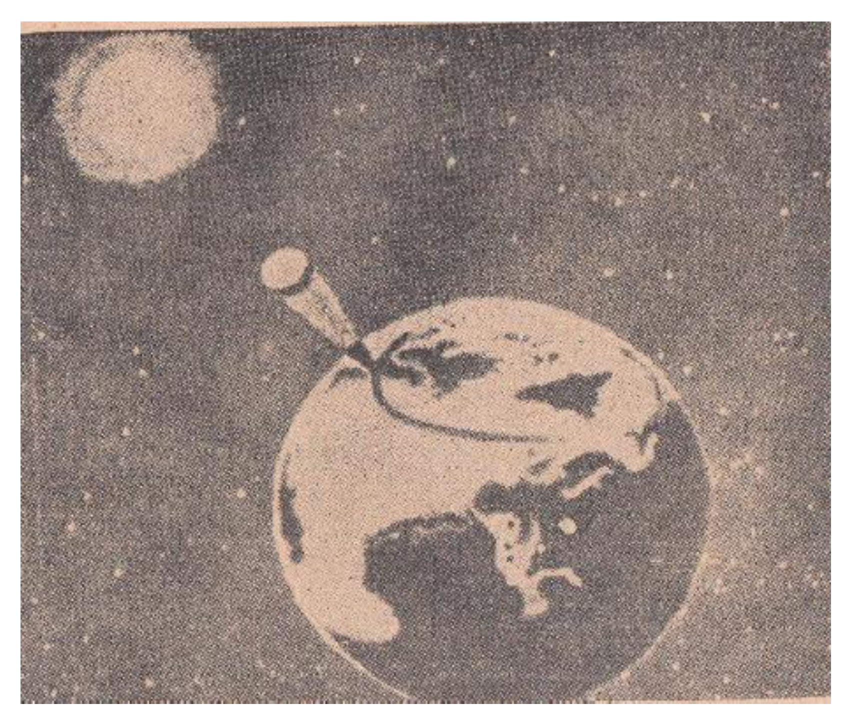
وعلى ذلك فتسميتها بمصباح الكون هي تسمية ذات أساس، والبعض الآخر يسميها العقل والحاكم، والإله المرئي الذي يرى كل شيء، وعلى ذلك فالصورة المأخوذة عن الشمس هي أنها جالسة على عرشها تحكم على أسرة النجوم المحيطة بها.

(ن. كوبرنيكوس)

يوجد مثل يرجع إلى كوزما بروتكوف(*) يقول: (إذا سئلت هل الشمس أكثر فائدة أم القمر؟ فأجب: القمر وذلك لأن الشمس تضيء بالنهار عندما يوجد ضوء كافٍ بدونها بينما يضيء القمر ليلًا). ومن المؤكد أن أحداً من قرائنا لن يؤثر فيه هذا الهراء، يوجد ضوء في النهار لأن الشمس تضيء وفي الليل يعطي القمر ضوؤه نتيجة لانعكاس أشعة الشمس عليه إلى الأرض، وتكون الشمس في نفس الوقت مضيئة في مكان آخر.

ويمكننا أن نمنع أشعة الشمس المباشرة من الوصول إلينا باستخدام مظلة ولكن ذلك لا يمنع الشمس من إضاءة الهواء والسحب والحقول وكل ما يحيط بنا، وقد تختفي الشمس وراء السحب ولكن بالرغم من ذلك فإن أشعتها بعد تشتتها تضيء الأرض، ومع ذلك فإذا وقع جسم كبير غير

نفاذ للضوء بين الشمس والأرض على بعد كبير بدرجة كافية فقد يمنع هذا الجسم أشعة الشمس المباشرة من المرور إلى جو الأرض، وينتج عن ذلك تلاشي الضوء وهذا هو ما يحدث في الكسوف الشمسي عندما تقع الأرض والشمس والقمر في خط مستقيم، وفكرة هذه الظاهرة موضحة في شكل (**15**).



شكل (**15**) الكسوف الشمسي

إن الضوء الذي يصل للإنسان (بما في ذلك الأشعة المرئية وغير المرئية) قد ينتج عن أحد ثلاثة مصادر.



ن. كوبر نيكوس (**1473– 1543**م)

الأشعة المباشرة التي تسقط على الأرض وهى الأشعة التي نحاول أن نرى منها أقل جانب ممكن. فمحور العين يكون في الغالب أفقياً وبالتالي فإن الشمس تكون في مواجهة العين عند شروقها وغروبها فقط، والأشعة التي تصل إلى العين باستمرار خلال النهار هي أشعة شمسية متشتتة، واللون الأزرق للسماء هو نتيجة لتشتت أشعة الشمس بجزئيات الهواء، وإذا كانت الجسيمات المشتتة صغيرة جداً فإن الأشعة التي تتشتت

بها تكون أطوال موجاتها في الغالب قصيرة (الأشعة الزرقاء والبنفسجية للطيف المرئي) ، أما إذا كانت الجسيمات أكبر من ذلك فإنها تشتت أيضا الأشعة التي أطوال موجاتها كبيرة.

ويمكن ملاحظة ذلك بسهولة عند إشعال سيجارة، يكون لون الدخان الخارج من الطرف المشتعل للسيجارة أزرق بينما لون الدخان الخارج من الفم أبيض، ويرجع ذلك إلى حقيقة أن جسيمات الدخان تتجمع عند مرورها خلال التبغ، أو بعبارة أخرى تصبح أكبر، ولنفس هذا السبب يكون لون الضوء المشتت الآتي من السحب التي تتكون من جسيمات متكاثفة وكبيرة نسبياً، فيكون لون هذا الضوء أبيض بينما لون السماء الصافية أزرق، وإذا كانت الأرض بدون جو أمكننا أن نرى الشمس في وسط سماء سوداء فاحمة.

رأى الراصدون من بالون ستراتوسفيري على ارتفاع 20–22كم فوقهم سماء تكاد تكون سوداء بينما كانت الشمس مضيئة لامعة.

إن شروق الشمس وغروبها واللون الأخضر للحقول والغابات وبياض الجليد وبريق القمر، هي جميعها ضوء شمس منعكس أو متشتت.

ولكن إلى جانب ضوء الشمس المباشر والمتشتت توجد أيضاً أشعة مستقبلة عن الشمس، يرسل أي جسم ضوءاً عند تسخينه، إذا كان التسخين شديداً جداً فإن الضوء المرسل يحتوي على الكثير من الأشعة المرئية، أما إذا كان التسخين غير شديد فإن الأشعة المرسلة تكون هي الأشعة تحت الحمراء غير المرئية، والتي يمكن العثور عليها بتأثيرها الحراري فقط.

كل شيء حولنا يحوى حرارة، فبالرغم من أننا نقول إن هذا الجسم دافئ وأن جسمًا آخر بارد فإن تلك هي مسألة اتفاق ونعني بكلامنا النسبة بين درجة حرارة كل من الجسمين ودرجة حرارة جسم الإنسان، ولكي نحرم جسمًا حرماناً تاماً من الحرارة يجب أن نوقف حركة جسيماته، وهذا لا يكون ممكناً إلا عند درجة حرارة 273م تقريباً (درجة حرارة الصفر المطلق) فكل شيء يرسل أشعة ضوئية مرئية أو غير مرئية، والإنسان نفسه يرسل ضوءاً أيضًا وكذلك عيناه، ومن هذه الناحية كان القدماء على حق في اعتقادهم بوجود ضوء داخلي لطيف في العين، وطاقة هذه الأشعة الداخلية للعين كبيرة بدرجة أنه إذا أمكن للعين أن تحسها كما تحس الأشعة الخضراء مثلًا، فإن الإضاءة التي تصاحب العين ليلًا ونهارًا تكون شدتها مساوية 5 ملايين شمعة وسنعرض لها فيما بعد.

وتأتى إلينا أشعة مرئية من النجوم ومن الشموس البعيدة والتراكمات الغازية، ففي بعض الأحيان يظهر البرق أو يعم الأورورا (الضوء الأزرق) المدهش للسماء، وتلمع الذبذبات النارية خلال الأشجار في ليالي الصيف، وتشع البقايا المتعفنة الضوء في الغابات، وبالإضافة إلى الضوء المرئي ترسل ومضات البرق موجات كهرومغناطيسية غير مرئية، فحتى عندما يكون الجو صحوًا نسمع في المذياع أصواتًا غريبة حادة تتدخل في البرنامج – هذه الأصوات هي تفريغ كهرومغناطيسي لشحنات جوية.

ومثل هذه التفريغات أدت إلى أن يكتشف أ.س.بوبوف اللاسلكي، وفي السنوات القليلة الماضية ثبت بما لا يدع مجالًا للشك أن الشمس والنجوم ترسل أيضًا موجات لاسلكية، وقد سببت هذه

الإشعاعات في كثير من الأحيان خللًا جسيمًا في عمل أجهزة الرادار خلال الحرب العالمية الثانية كما يوجد في الأرض مواد معينة تسمي مواد مشعة، وذرات هذه المواد تتفكك باستمرار، ويصاحب هذه العملية إرسال إشعاع موجات ضوئية من نوع جاما أطوالها قصيرة جداً.

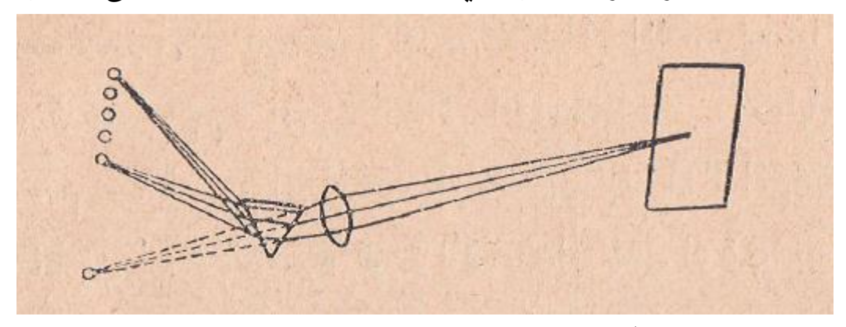
إلى جانب هذا الضوء الذي يأتي إلينا كنتيجة لعمليات طبيعية تتم على الأرض وفي الكون، يقوم الإنسان بعمل المصادر الضوئية الصناعية لنفسه عند الضرورة فهو يشعل الخشب والكيروسين، والشموع، وهو يستخدم المصابيح الكهربائية التي تضئ عن طريق تسخين سلك داخلها بواسطة الكهرباء، وفي المصابيح الحديثة الأكثر تقدماً، يسبب التيار الكهربائي أولاً تفريغاً في بخار الزئبق ويصحب هذا التفريغ إرسال أشعة فوق بنفسجية، وبعد ذلك تمتص هذه الأشعة بالجدران الزجاجية للأنبوبة التي تكون مغطاة من الداخل بمركب ضوئي، وتتحول الأشعة بعد ذلك إلى ضوء مرئي، وكل محطة إذاعة للراديو هي مصدر ضوئي من نوع ما تقوم بإرسال موجات طويلة جداً، وأنابيب أشعة "س" التي تصنع للأغراض العلمية والطبية تشع ضوءاً غير مرئي يمر بسهولة خلال جسم الإنسان.

ولكن طاقة جميع هذه المصادر الضوئية سواء أأخذت معاً أم على انفراد، هي في الواقع صغيرة بدرجة لا نهائية إذا ما قورنت بالطاقة الضوئية للشمس، ويجب أن نتذكر أنه عندما نضئ مصباحاً، أو نستخدم محطة للراديو أو أنبوبة لأشعة "س"، فإننا في الواقع نستعمل جزءًا تافهًا من الطاقة الشمسية التي تراكمت على طول الوقت بواسطة النباتات في صورة فحم أو خشب أو بترول، وعند استخدام طاقة الرياح، أو طاقة مساقط

المياه والخزانات، نكون مرة أخرى قد استخدمنا الطاقة الضوئية للشمس التي سببت الرياح أو رفعت المياه، وعلى ذلك فمن الواضح أنه لا يوجد وجه لمقارنة أي مصدر ما بالشمس من وجهة نظر الطاقة الكلية المشعة.

والسبب الذي من أجله يستخدم الإنسان مصادره الضوئية الصناعية المتواضعة مع وجود الشمس ليس فقط بالليل وإنما في النهار أيضًا، السبب هو أن التركيب الطيفي للضوء الذي هو أحد خواصه الأساسية، كثيرًا ما يكون متساوياً في الأهمية مع كمية الطاقة المضيئة إن لم يزد أهمية عنها.

نحن نعلم أن نيوتن هو أول من أدخل هذه الفكرة البالغة الأهمية عن التركيب الطيفي للضوء. وأصبح جهاز المنشور الذي حلل نيوتن بواسطته الضوء الشمسي هو الهيكل الأساسي لجميع أنواع المطيافات وفي الوقت الحاضر وفيما مضي، ويعطي (شكل 16) وهو صورة من رسم نيوتن الأصلي، واضحة عن المطياف النيوتوني البسيط، يسقط الضوء على فتحة ضيقة موضعها يكاد ينطبق على بؤرة عدسة موجودة في الناحية الثانية منها وتمر الحزمة الضوئية في العدسة وتسقط بعد ذلك على المنشور.

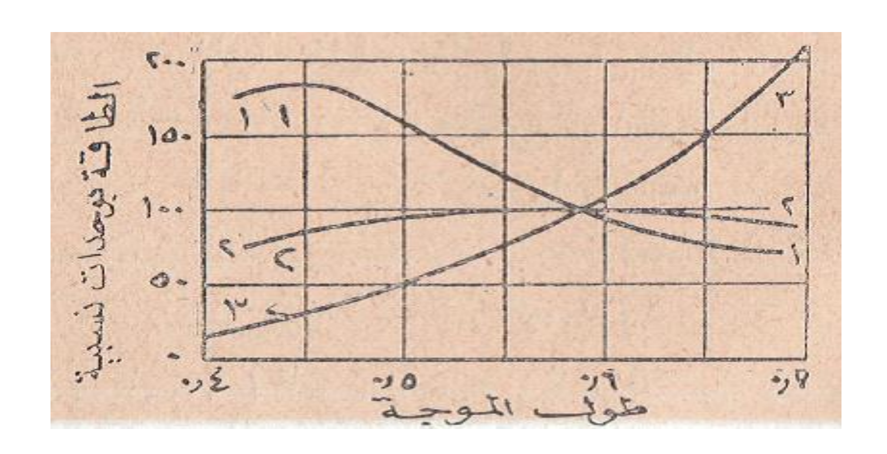


(شكل 16) المطياف (الصورة خاصة بنيوتن)

فتنكسر وتدخل في تلسكوب صغير مضبوط على (ما لا نهاية) يمكن رؤية صورة فتحة المطياف خلال التلسكوب بجميع الألوان البسيطة التي يتركب منها الضوء الذي ندرسه، كل لون بسيط على حده. إذا كانت الفتحة واسعة جدًا تتداخل الصور وتختلط الألوان البسيطة بعض الشيء مما يجعل الطيف ينتشر، وإذا وضع مصباح كيروسين أو مصباح كهربائي أمام فتحة المطياف في ناحية المصدر الضوئي فإننا نرى خلال التلسكوب متتابعة متصلة من الألوان، وإذا وضع لوح فوتوغرافي أمام التلسكوب فسيلاحظ وجود منطقة قصيرة متصلة للأشعة فوق البنفسجية تتلو النهاية البنفسجية للطيف، ولكن لا العين ولا اللوح يمكن أن يفيدا في تقدير توزيع الطاقة على طول الطيف، فكل منهما له مجاله الخاص الضيق للحساسية، ويكاد أن يكونا عديما الحساسية خارج هذا المجال.

والعين حساسة على الخصوص للجزء الأخضر من الطيف أما اللوح الفوتوغرافي العادي فحساس على الخصوص للجزئين الأزرق والبنفسجي، وأفضل طريقة للحكم على الطاقة في الطيف هي استخدام آلة حرارية تمتص الأشعة بجميع أنواعها امتصاصاً تاماً وتحولها إلى حرارة (عنصر حراري) ولسوء الحظ فإن مثل هذه الآلات حتى لو صنعت بدقة كبيرة تكون أقل حساسية بكثير جداً من العين، أو اللوح الفوتوغرافي، ويبين (شكل17) توزيع الطاقة المقيسة بهذه الطريقة لمصادر ضوئية متعددة، أطوال الموجات بالميكرون مبينة على المحور الأفقي (نذكر القارئ أن $0,4\ \mu$ تناظر النهاية البنفسجية للطيف وان $0,7\ \mu$ تناظر نهايته الحمراء). والطاقة مقيسة بوحدات نسبية مبينة على المحور الرأسي مع

اعتبار أن الطاقة عند طول موجة $0,59\ \mu$ لكل من مصادر الضوء هي 100، ويبين المنحنى 2 توزيع الطاقة في الجزء المرئي من طيف الشمس، أما المنحنى 1 فيبين توزيع الطاقة في ضوء السماء الأزرق ويمكن ملاحظة أنه كنتيجة للتشتت، فإن نقطة النهاية العظمى للطاقة أزيحت إلى النقطة الزرقاء، والمنحنى 3 يبين توزيع الطاقة في طيف مصباح كهربائي.



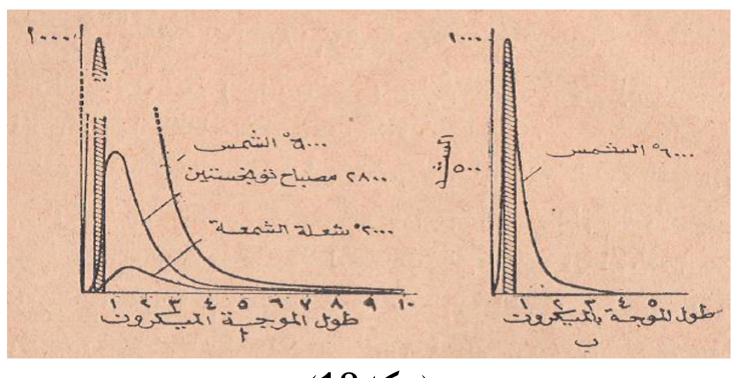
(شكل 17) توزيع الطاقة في أطياف المصادر المختلفة

إذا سخنت أجسام مختلفة، معادن مثلًا، إلى أن وصلت جميعاً إلى درجة حرارة عالية واحدة فإن توزيع طاقاتها سيختلف بعض الشيء، وهذا الاختلاف ناتج عن عدم تساوي قدرة السطوح المختلفة على عكس الضوء، وإذا جعلنا لون كل سطح من سطوح هذه الأجسام أسود تمامًا بحيث أنها تمتص كليًا جميع الأشعة ولا تعكس أيًا منها على الإطلاق، فإن توزيع الطاقة في نفس درجة الحرارة يكون واحداً لجميع الأجسام.

في الجسم الساخن، تتحول طاقة حركات الجزيئات إلى ضوء ومن جهة أخرى تمتص الجزيئات الضوء، ويتعادل مقدار الضوء الممتص مع مقدار الضوء المشع في أي درجة حرارة معينة.

وفي الباب الخاص بالضوء وصلنا إلى نتيجة انتهينا إلى أن إرسال وامتصاص الضوء يحدثان فقط بكميات كاملة هـ v. وإذا اعتبرنا التوازن بين الإرسال والامتصاص لجسم أسود تماماً وراعينا الطبيعة الكمية لكل من العمليتين، فإن قانون توزيع الطاقة للضوء المرسل من جسم أسود يمكن استنتاجه بدقة بدون صعوبة كبيرة، ومن الناحية التاريخية حلت هذه المسألة بالطريق العكسي في أثناء البحث عن قانون صحيح لطيف إشعاع الأجسام السوداء يتفق مع النتائج التجريبية وجد بلانك لأول مرة أن مثل هذه القانون لا يمكن استنتاجه بدون الفرض بأن الضوء يشع ويمتص بكميات كاملة، وعن هذا الطريق اكتشفت قوانين الكم للكون تلك القوانين ذات الأثر البعيد.

ويبين (شكل18) قانون إشعاع الجسم الأسود لدرجات حرارة متعددة، فيبين الإحداثي الأفقي طول موجة الأشعة الضوئية بالميكرون (الميكرون = 1000م μ) والإحداثي الراسي يدل على شدة الطاقة أو الطاقة بوحدات نسبية المساحة المظللة تناظر المنطقة المرئية من الطيف.



(شكل**18**)

وتوزيع الطاقة في إشعاعات جسم أسود عند درجات حرارة مختلفة (كان من المتعذر تمثيل المنحنى الخاص بدرجة **6000** بنفس مقياس الرسم في شكل **18** وذلك للفرق الهائل في الشدة والمنحنى الكامل الذي يناظر درجة الحرارة هذه معطى بمقياس رسم أصغر في شكل **18** ب).

وكما يظهر من الشكل تنتقل نقطة النهاية العظمى لمنحنى الطيف نحو نهاية الموجة القصيرة كلما ارتفعت درجة الحرارة، ويتفق هذا مع الحقيقة المعروفة جيداً وهى أنه كلما ارتفعت درجة حرارة معدن يتغير لونه تدريجياً إلى الأحمر ثم إلى الأبيض، لقد تأيد القانون النظري لتوزيع الطاقة في طيف جسم أسود بالتجربة لأقصى درجة من الدقة يمكن التوصل إليها في الوقت الحاضر، وإحدى النتائج الخاصة لهذا القانون هي أن حاصل ضرب طول الموجة λ المناظر للنهاية العظمي لمنحني الطيف في درجة الحرارة المطلقة **C** (أي درجة الحرارة المئوية + **273**)، هو مقدار ثابت.

$$\frac{G\lambda}{\text{نها عظمي}}$$ = ث = **18**، **2897** ميكرون/درجة.

وإذا كانت قيمة (لما . عظمى) بالميكرون معلومة فإن هذا القانون يمكن استخدامه لتعيين درجة حرارة الجسم.

لقد اتجهنا نحو التوزيع الطيفي للضوء لاتصاله بنوع الضوء الشمسي، ومن المؤكد أن الشمس جسم ساخن جداً، وعلى ذلك فطيف الشمس يجب أن يكون مشابهًا للأطياف التي تنتج على الأرض عن مصابيحنا وشموعنا، حقيقة إذا رصد طيف الشمس بمطياف بدائي ذي فتحة واسعة فإنه يبدو متصلًا. وعند قياس توزيع الطاقة في هذا الطيف قياساً تقريبياً نجد أن هذا التوزيع يتبع إحدى منحنيات إشعاع الجسم الأسود (شكل18) ، ويمكن حساب درجة حرارة سطح الشمس تقريبيًا من شكل هذا المنحنى وموضع نهايته العظمى، وذلك إذا فرضنا أن الشمس تشبه جسمًا أسود مسخنًا تسخينًا عاليًا، بهذه الطريقة وجد أن درجة حرارة الشمس هي 6000 تقريبًا ولا توجد فائدة كبيرة في تعيين شكل المنحنى بدقة أكثر، وذلك لأن الأجزاء المختلفة في قرص الشمس لها درجات حرارة مختلفة، وعين الإنسان أقل حساسية من أسوأ المطيافات بالنسبة لتمييز نوع الضوء، وعلى ذلك فالمنحنى التقريبي المعطى مضبوط بدرجة كافية لغرض المقارنة بين خواص ضوء الشمس وبين خواص العين، وهي المقارنة التي سنقوم بها في الباب التالي.

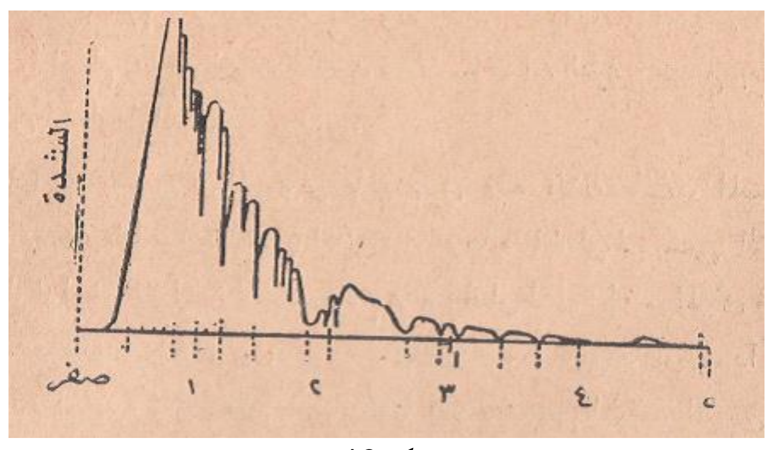
عند دراسة الشمس يستخدم علماء الطبيعة والفلكيون تلسكوبات ومطيافات دقيقة جداً، وفي الأغلب يستخدمون التصوير بدلًا من العين، وبهذه الطريقة يتمكنون من كشف تفاصيل خاصة بضوء الشمس وتوزيعه على الشمس، وهي تفاصيل يتعذر تمامًا على العين المجردة الكشف عنها.

وفي سنة 1802م اكتشف دولاستون خاصية لطيف الشمس لم تثر لسبب ما اهتمام إسحق نيوتن، وجد دولاستون إن الطيف ينقطع بعدد كبير من الخطوط الدقيقة السوداء.

وفيما بعد درس فراونهوفر بالتفصيل هذه الانفصالات المعتمة الموجودة في الطيف الشمسي المضيء، وهذه الخطوط تسمى الآن خطوط فراونهوفر نسبة إليه، وأهم هذه الخطوط في الجزء المرئي من الطيف معطاة في الجدول "أ" ، وحيث إن هذه الخطوط توجد دائماً في نفس المواضع فإنه يمكن استخدامها كعلامات على الطيف الشمسي وكثيراً ما تستعمل للرمز إلى مناطقه المختلفة.

يعطي العمود الثاني من الجدول أطوال الموجات بالمليميكرون بينما يعطي العمود الثالث المنطقة الطيفية التي يوجد بها الخط.

سبق أن ذكرنا أن طيف الشمس يبدو متصلًا إذا رصد بمطياف أولي وأن منحنى توزيع الطاقة يكون في هذه الحالة منتظماً وأملس، ومع ذلك فإن الدراسة الدقيقة لمنحنى توزيع الطاقة تبين أنه مملوء بالانحناءات في كل من المنطقتين المرئية وغير المرئية (شكل19) ، وهذه الانحناءات هي مسارات لخطوط فراونهوفر، وفي المنطقة فوق البنفسجية ينتهي طيف الشمس بطريقة فجائية، وتتوقف النهاية على ساعة اليوم وعلى فصل السنة، ولا يكاد يصلنا شيء من الأشعة الآتية من الشمس والتي طول موجتها اقل من 290م μ إذ إن جميع الأمواج الأقصر من ذلك تمتص بالأوزون الموجود في الطبقات العليا للجو لنهاية عظمى قدرها 19 ميلًا.



(شكل**19**)

توزيع الطاقة في طيف الشمس

كيف يمكن تفسير عدم وجود ألوان معينة في طيف الشمس؟ إذا أضفنا الملح العادي إلى كحول لا لوني أو إلى شعلة غاز فإن لون الشعلة يتغير ويصبح أصفر ساطعاً، وإذا نظرنا خلال مطياف (من نوع جيد) سنجد أن الطيف المتصل قد اختفي كلية تقريباً، وبدلًا منه نجد جنبًا إلى جنب خطين لونهما أصفر، وعند أطوال الموجات التي تنطبق تماماً على أطوال الموجات المناظرة لخطي فراونهوفر **D1 D2**. وهذا التطابق دقيق بدرجة أنه لا يمكن أن يعزى للصدفة.

والفرق هو أنه بينما تعطي الشعلة خطوطًا ساطعة في وسط إطار معتم تعطي الشمس خطوطًا سوداء في وسط الطيف الساطع.

جدول **-1-**

الخط	طول الموجة	اللون	المصدر

	بالميكرون		
A	759,4	أحمر	الأوكسجين في جو الأرض
a	718,5	أحمر	بخار الماء في جو الأرض
B	686,7	أحمر	الأوكسجين في جو الأرض
C	656,3	أحمر	الإيدروجين على الشمس
D	589,6	أصفر	الصوديوم على الشمس
D_2	589,0	أصفر	الصوديوم على الشمس
E	527,0	أخضر	الكالسيوم على الشمس
b_1	518,4	أخضر	المغنسيوم على الشمس
b_2	517,3	أخضر	المغنسيوم على الشمس
b_4	516,7	أخضر	المغنسيوم على الشمس
F	486,1	أزرق	الإيدروجين على الشمس
g	430,8	بنفسجي	الكالسيوم على الشمس
H	396,9	بنفسجي	الكالسيوم على الشمس
K	393,9	بنفسجي	الكالسيوم على الشمس

حيث يتحلل الملح في الشعلة إلى كلوروصوديوم، والأخير يسبب التأثير المضيء ومن الطبيعي أن نفترض أن خطوط D السوداء في الطيف الشمسي ترجع أيضًا إلى أبخرة الصوديوم، والواقع أنه إذا وضع إناء يحتوي

على أبخرة صوديوم معدنية، أو شعلة غاز ملونة بالملح في مسمار طيف متصل (طيف مصباح ساطع مثلًا) فإن المناطق التي تناظر خطوط D_1 تصبح أضعف، بهذه الطريقة نكون قد أنتجنا خطوط فرانهوفر صناعيًا على طيف متصل، وعلى ذلك فان أبخرة الصوديوم، يمكن لها أن تمتص وأن تشع خطوط D. ولزيادة الحرص يجب القول بأن الأغلبية العظمى من الذرات في أبخرة الصوديوم لها القدرة على امتصاص الضوء، ولكن بعد امتصاص كميات الضوء تصبح الذرات (مثارة) وتتوقف عن امتصاص الإشعاعات، وبعد مضي فترة من الوقت تعطي ثانية الطاقة التي اكتسبتها على صورة ضوء، وبعبارة أخرى يحتوي الملح المسخن لدرجة عالية على ذرات الصوديوم العادية، وهذه الذرات تمتص الضوء، وعلى ذرات مثارة تشع الضوء الذي سبق أن امتصته.

ويمكن الحصول بطريقة ما على إضاءة تتكون من خطوط طيفية رفيعة منفصلة في أبخرة أي عنصر من العناصر، وقد يكون عدد مثل هذه الخطوط كبيرًا جدًا، وهذا يبين أن الذرة يمكن أن تكون في عدد كبير من الحالات المختلفة (للإثارة).

لقد وجد أن كلًا من الطيف الذري الخطي والطيف المتصل للأجسام السوداء يتبع قوانين الكم. وهذا يعني على الخصوص أن نفس ثابت الكم "هـ" صحيح بالنسبة لكلا الطيفين، ومن جهة أخرى فالأطياف الخطية هي تعبيرات عن التركيب الداخلي للذرات التي تمثلها، وعلى ذلك فالتركيب الذري يتبع قوانين الكم مثله في ذلك مثل الضوء.

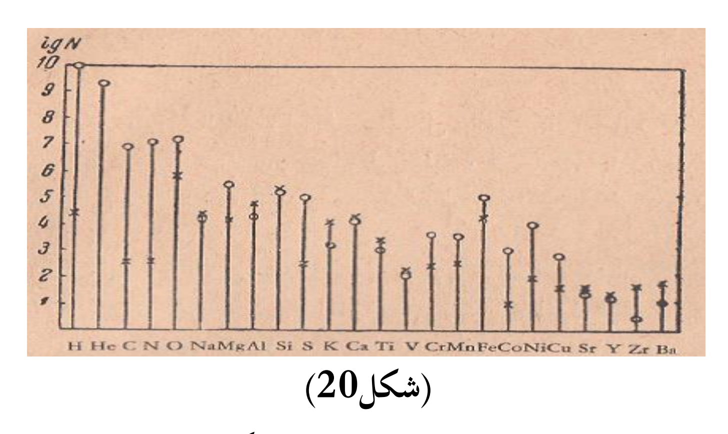
كما تظهر علاقات الكم أيضًا في أطياف وتركيب الجزيئات، وفي حالة الغازية المخلخلة العالية ترسل الجزيئات طيف (حزمي) بواسطة الأجهزة الطيفية، يمكن تقسيم هذه الحزم إلى عدد كبير من الخطوط الرفيعة جدًا وتتفق مواضع هذه الخطوط مع قوانين الكم البسيطة، وعلى ذلك فمرة أخرى لدينا براهين مقنعة لحقيقة أن الضوء والمادة لهما صفات نوعية هامة جدًا مشتركة.

والآن فلنعد إلى الطيف الخطي، لكل عنصر كما رأينا (علاماته) الضوئية الخاصة به، وهي خطوط الطيف التي يمكن قياس مواضعها بالضبط، والتي من الصعب التباسها مع خطوط أي عنصر آخر، وبالتالي فبدون أن نترك الأرض يمكننا أن ندرس كيمياء الشمس والأجرام السماوية المضيئة الأخرى وذلك عن طريق طيف كل منها، تترك أبخرة العناصر المكونة لجو الشمس أثارًا على هيئة خطوط فراونهوفر على الطيف المتصل لسطح الشمس، ذلك الطيف الذي يمر خلال هذه الأبخرة في طريقه إلى الأرض، يبين العمود الأخير في جدول (أ) العناصر التي تناظرها الخطوط.

وبعض الخطوط ناتجة عن امتصاص ضوء الشمس جزئيًا بواسطة جو الأرض، وهذا الأمر مبين أيضًا في الجدول، وأغلب العناصر الكيميائية الموجودة على الأرض قد اكتشفت على سطح الشمس أيضًا، والعناصر التي لم تكشف هي أسس العناصر الثقيلة مثل الذهب والزئبق والثاليوم والبزموت والراديوم... الخ.

وفي (شكل20) مقارنة بين ذرات العناصر الكيميائية المختلفة في القشرة الأرضية (السينات) وبين كميات نفس الذرات على سطح الشمس

(الصادات)، الأرقام الموجودة على اليسار هي لوغاريتمات الكميات النسبية للعناصر، وهذا يعني أن العدد **5** مثلًا يرمز إلى **10°** من الذرات.



(شكل**20**)

المقارنة بين العدد النسبي المتوسط لذرات العناصر الكيميائية المختلفة على سطح الشمس وفي القشرة الأرضية.

ويمكن ملاحظة أن الكميات النسبية لبعض الذرات على الأرض تختلف اختلافًا كبيرًا عن تلك الموجودة على سطح الشمس، ومن ناحية أخرى فإن أرقام العناصر مثل الصوديوم والسيليكون والسترونشيوم تكاد تتطابق، وعدم وجود الخطوط الطيفية ليس دليلًا كافيًا لاعتبار أن العنصر نفسه غير موجود، فقد تقع الخطوط في المنطقة فوق البنفسجية التي لا تصل إلى الأرض، وأهم ما يحجب المنطقة فوق البنفسجية لطيف الشمس عن الراصد الأرضي هو الأوزون الموجود في جو الأرض والذي يتركز أغلبه في الستراتوسفير على ارتفاع من **12–19** ميلًا.

وبعد الحرب العالمية الثانية استخدمت الصواريخ من نوع 2.v التي أخذت كغنائم حرب في ألمانيا، استخدمت في الولايات المتحدة الأمريكية لتصوير الطيف الشمسي من ارتفاعات أعلى عن طبقة الأوزون، ويبين (شكل21) صورًا للطيف مأخوذة أوتوماتيكيًا من الصاروخ على ارتفاعات مختلفة والارتفاع (بالكيلومتر) مبين على اليسار وأطوال الموجات مقيسة بالمليميكرون ومحسوبة على المحور السيني، ويمكن ملاحظة أنه على ارتفاعات 25كم وأكثر يصبح الطيف أطول في اتجاه المنطقة فوق البنفسجية والطيف المصور على ارتفاع 34كم يمتد إلى 280م μ وعندئذٍ يختفي فجأة، وعلى الارتفاعات الأعلى التي تصل إلى 55كم يظهر في الصورة مدى جديد واسع للطيف إلى 240م μ ومع ذلك فإن الحزمة المعتمة عند 280م μ تستمر في الوجود وهذه الحزمة تناظر الامتصاص بواسطة أبخرة المغنسيوم.

وليست الذرات هي وحدها التي وجدت على الشمس، وإنما أيضًا الجزيئات البسيطة مثل ك ا يد، يد$_1$ ، ك ن، يد$_2$ ... إلخ.

إن أبعاد الشمس شاسعة، فقطرها يساوي 1,400000 كيلو متر تقريباً أو ما يعادل 110 من المرات قطر الأرض وحجمها يساوي 1305000 من المرات حجم الأرض، ولكن كثافة الأرض أكبر بكثير من كثافة الشمس، الكثافة المتوسطة للشمس هي 1,406 مرة كثافة الماء، بينما الكثافة المتوسطة للأرض هي 5,6 مرة.

والكمية الكلية للمادة في الشمس هي 330420 من المرات قدر الكمية الكلية للمادة في الأرض، ووزن المادة الشمسية بالطن هي العدد

التقريبي 2×10^{27} (أي 2 متبوعة بأصفار عددها 27 صفراً) وإذا أخذت الشمس تفقد وزنها بمقدار 1000 مليون طن في الثانية فإن الزمن اللازم لكي تنقص كتلتها إلى نصف قيمتها الحالية هو 30000 مليون سنة.

ومعلوماتنا عن هذه الكمية الهائلة من المادة المتراكمة مقصورة على سطحها الخارجي، أما الحياة الداخلية للشمس مجهولة ويمكن فقط التخمين عن ماهيتها، وسطح الشمس أبعد ما يكون عن التجانس، وعندما نتكلم عن توزيع الطاقة في الضوء الشمسي أو عند درجة حرارة الشمس، تكون القيم التي نذكرها قيما متوسطة تقريبية، والرحلة الظاهرية للشمس عبر السماء يصاحبها تغير ظاهري في توزيع الطاقة في طيف الشمس، وهو تغير ملحوظ بقدر رحلة الشمس نفسها، وعند شروق الشمس وغروبها تبدو الشمس حمراء، وذلك لأن أشعتها تخترق طبقة أكثر سمكًا من الجو عن تلك التي يجب أن تخترقها هذه الأشعة عندما تكون الشمس في السحب.

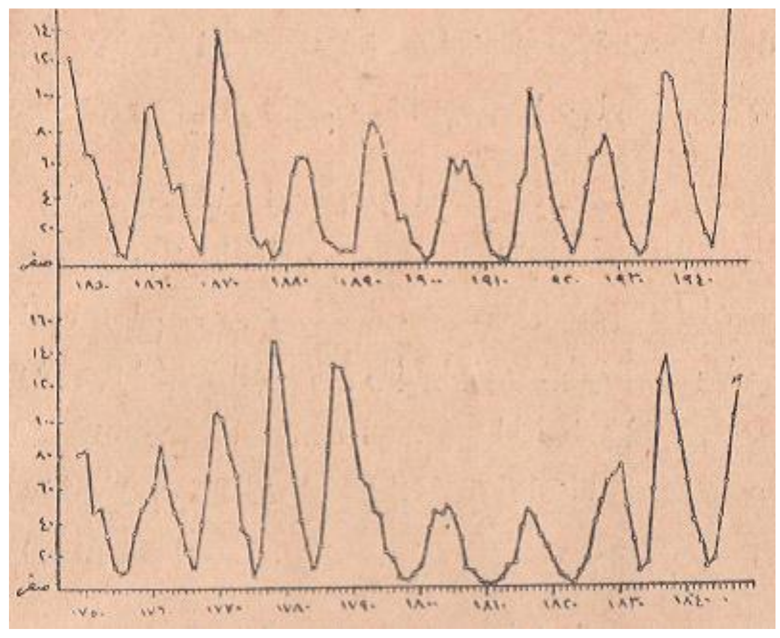
وتوجد بقع على سطح الشمس باستمرار تقريباً، وعلى الخصوص في المناطق الاستوائية (شكل22) وفي بعض الأحيان تكون هذه البقع كبيرة بدرجة أنه يمكن تمييزها بسهولة بالعين عند النظر خلال زجاج مغيم، تبين في إحدى افتتاحيات التسجيلات الصينية التي وصلتنا أن البقع الشمسية رصدت بالعين المجردة منذ زمن بعيد جدًا يرجع إلى سنة 28 قبل الميلاد، وفي عام 1858م كانت هناك بقعة مرئية على قرص الشمس طولها 230000كم أو ما يساوي 18 مرة طول قطر الأرض، وقد غطت هذه البقعة $\frac{1}{36}$ من السطح الكلي المرئي من الشمس، والبقع لها أشكال

مختلفة، ولها مناطق معتمة عند مراكزها، ومحيطاتها معتمة أيضًا ولكن بدرجة أقل من مراكزها (شكل23).

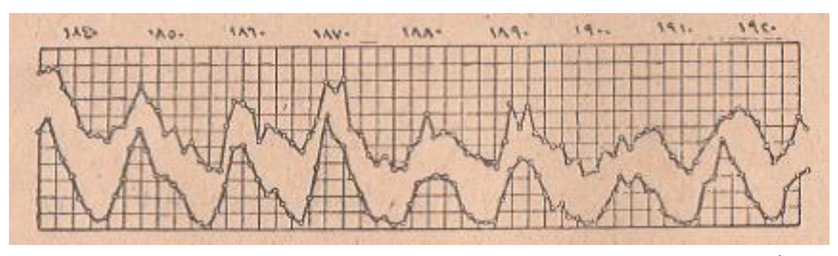
والدراسات الطيفية تبين أن المركبات الرئيسة في مناطق البقع هي الهيدروجين وأبخرة الكالسيوم، وفي بعض الأحيان تحيط بالبقع دوامات رياح جبارة وسيكلونات تتركب في بعض الأحيان من تيارات من الجسيمات المشحونة، والتيارات الكهربية الناتجة يصاحبها مجالات مغناطيسية جبارة تسبب تغيرات في الخطوط الطيفية (تقسم هذه الخطوط)، وهذه التغيرات الطيفية تجعل في الإمكان الكشف عن دوامات الرياح الشمسية.

ويتغير عدد البقع الشمسية دوريًا، وطول الدورة هو حوالي **11** عامًا، يثبت المنحنى الموجود في (شكل**24**) هذه الصفة الدورية، السنوات مبينة على المحور الأفقي والعدد النسبي للبقع مبين على المحور الرأسي، ويشمل المنحنى فترة زمنية طويلة جدًا تبلغ القرنين تقريبًا، من **1749** – **1947**م والصفة نصف الدورية واضحة تمامًا فيه، وهذا دون شك هو قانون للتأثير الشمسي يلعب دورًا بالغ الأهمية في حياة الأرض، وجزء من المنحنى، من **1836** – **1926**م مكرر في (شكل**25**) (المنحنى الأسفل) وبنفس نظام الإحداثيات المرسوم على أساسه منحنى الاضطرابات المغناطيسية على الأرض لنفس الفترة، وتناظر المنحنيين واضح تمامًا.

وعلى ذلك توجد أمور أخرى إلى جانب الجاذبية والضوء بين الأرض والشمس، من المعلوم الآن أن تيارات من الجسيمات السالبة الشحنة – الإلكترونات – تسيل باستمرار من الشمس إلى الأرض.

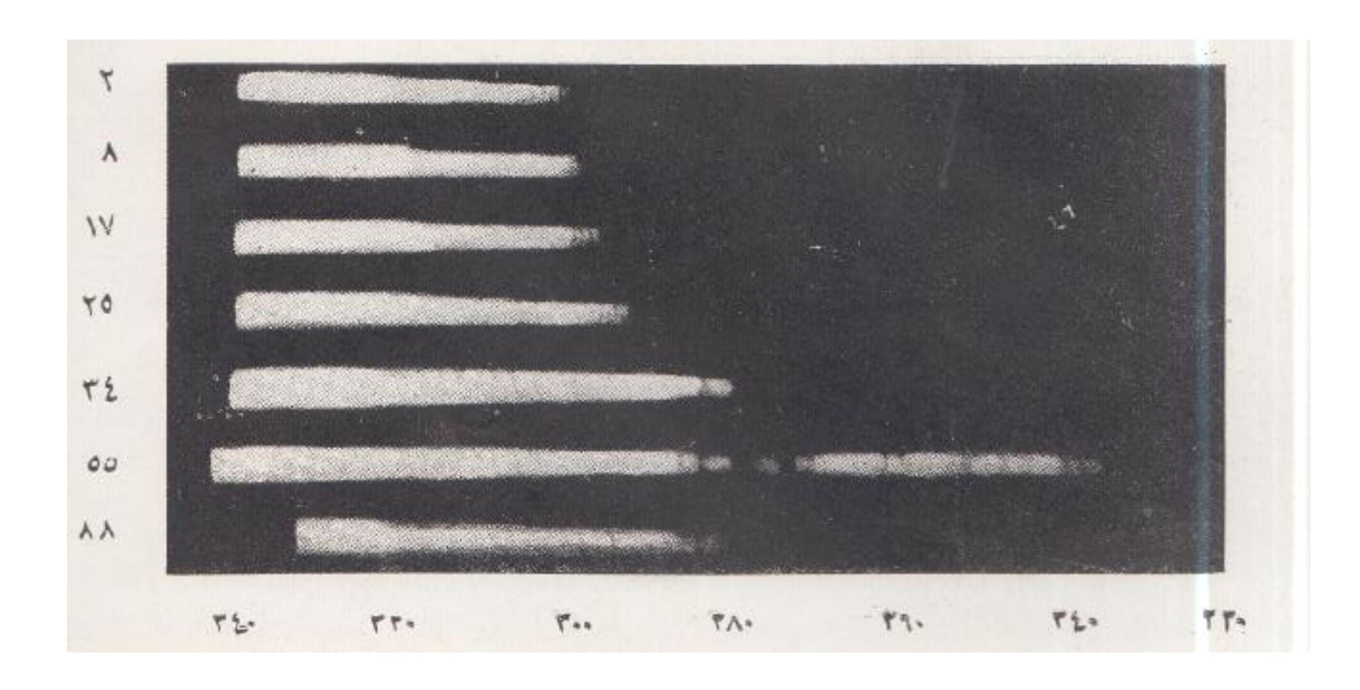


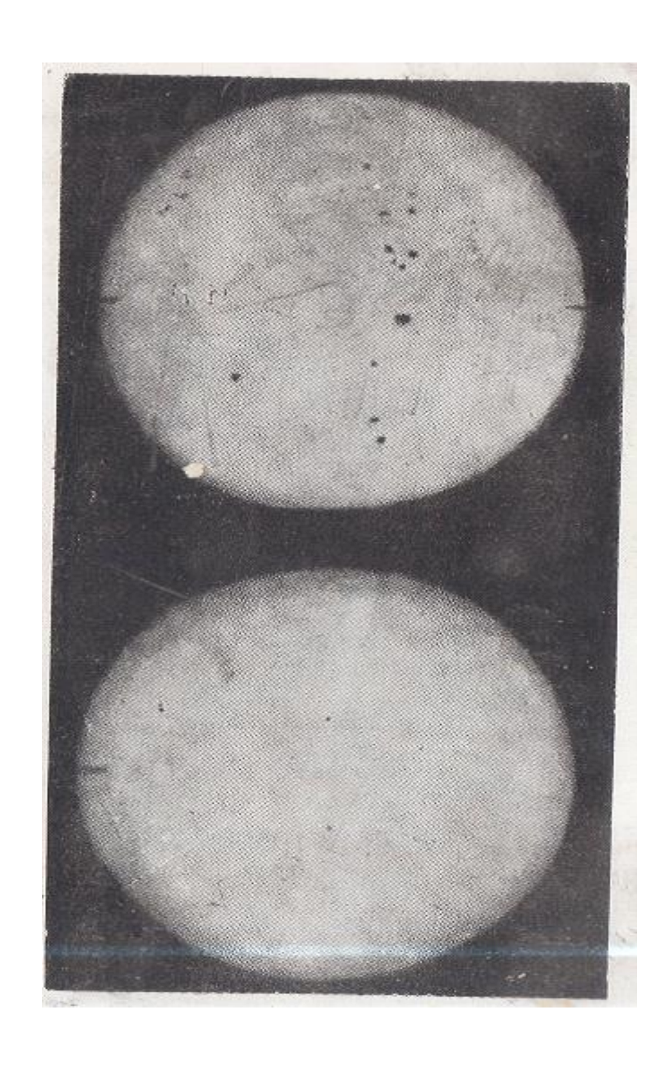
(شكل24) دوره الأحد عشر عامًا للبقع الشمسية



(شكل25) دورية البقع الشمسية وتناظر عدد البقع مع الاضطرابات المغناطيسية على الأرض (المنحنى العلوي)

شكل 21: الطيف الشمسي مصور من صواريخ على ارتفاعات مختلفة

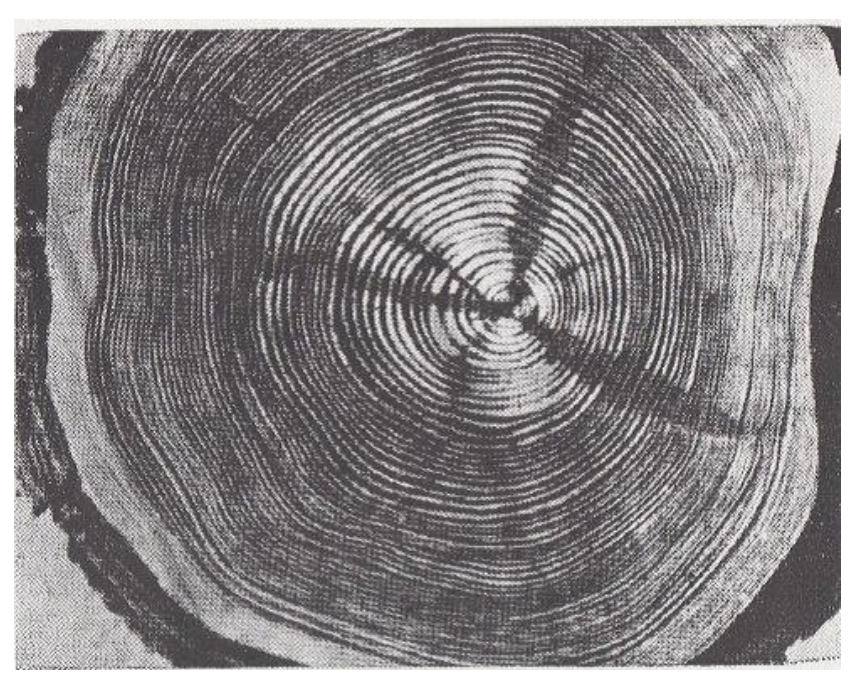




(شكل 22) قرص الشمس بأكبر (الشكل الأيمن) وأصغر بقع شمسية

(شكل 23) منظر لمجموعة من البقع الشمسية

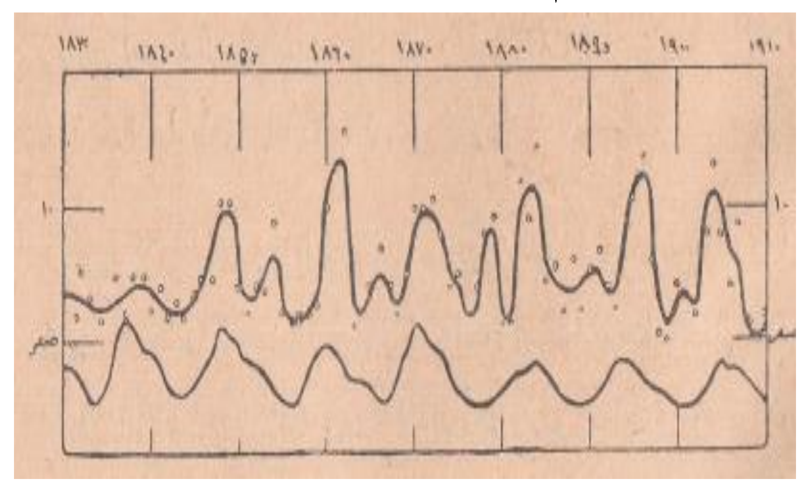




(شكل 26) مقطع في جذع شجرة بلوط سيبين كيف يتغير سمك الحلقات دورياً وكل دورة تساوي 11 عامًا

وهذه التيارات من الكهرباء تنحرف بواسطة القطبين المغناطيسيين للأرض نحو المناطق القطبية، وتسبب تغيرات مغناطيسية على الأرض كما هو مسجل في (شكل 25) ، ومن ناحية أخرى فإن هذه الإلكترونات السريعة عند اختراقها للطبقات المختلفة من جو الأرض تجعل الغازات الموجودة في هذه الطبقات ترسل ضوءًا، وهذا هو تفسير الضوء الشمالي والضوء الجنوبي، إن تردد حدوث (الأورورا) في المناطق القطبية يبين نفس الدورية التي تبينها البقع الشمسية والاضطرابات المغناطيسية على الأرض.

وللتغير في عدد البقع الشمسية تأثير محسوس على التغيرات الجوية وبالتالي على الزراعة وعلى جميع أشكال الحياة على الأرض (شكل **26**) هي صورة لمقطع عرضي في جذع شجرة بلوط وهو يبين كيف يتغير سمك الحلقات السنوية في دورات محددة بوضوح كل منها **11** عامًا تناظر دورات البقع الشمسية في (شكل **27**) مقارنة بين منحنى البقع الشمسية للفترة من **1830 – 1910**م.



(شكل 27) المقارنة بين منحنى البقع الشمسية وبين المنحنى المتوسط لنمو الأشجار في دول أوروبية متعددة (المنحنى العلوي)

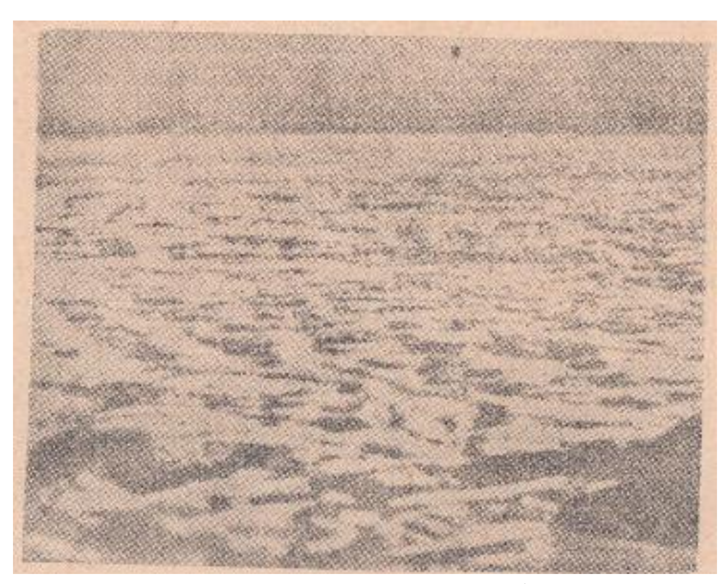
وبين المنحنى المتوسط لنمو الأشجار في أغلب الدول الأوروبية، والإتفاق واضح تمامًا في هذه الحالة أيضًا، بالرغم من أن الصورة معقدة بعض الشيء نتيجة لتأثير عوامل أخرى لا علاقة لها بالبقع الشمسية،

وعلى ذلك فلا يوجد أدنى شك في أن البقع الشمسية هي عامل هام في الحياة على سطح الأرض.

تسمى القشرة الخارجية للشمس بالفوتوسفير وهي الجزء الوحيد من الشمس الذي يمكن رؤيته في الظروف العادية، وهذه القشرة تعطى تركيبًا حبيبيًا، وهذا التركيب يصبح صفة خاصة إذا صور قرص الشمس في ضوء أحادى اللون لخط طيفي واحد، الهيدروجين أو الكالسيوم مثلًا (شكل 28) ، ومن الواضح أن الحبيبات وهي من أشكال وأحجام مختلفة تناظر سحب الأبخرة والغازات التي تطفو في الفوتوسفير، وقد وجد أن السحب العادية على الأرض لها تركيب حبيبي مشابه، وذلك عند النظر إليها من أعلى (من قمة جبل) (شكل 29) وبعض أجزاء الفوتوسفير وتسمى (الشعيلة) ساطعة بدرجة خاصة وأقوى والخطوط في هذه الأماكن هي خطوط الكالسيوم.

في خلال الكسوف الكلي للشمس يكون لدينا فرصة لرؤية القشرة الشمسية بتفاصيلها، وعندئذٍ ترى كما لو كانت في مقطع عرضي (شكل 30) ، ويحيط بالفوتوسفير طبقة رقيقة لونها أحمر تسمى الكروموسفير، وتخترق الشعيلة الموجودة في الفوتوسفير هذه الطبقة، ويبلغ عمق الكروموسفير حوالي 1000كم.

وترتفع نافورات جبارة من الغازات المضيئة فوق هذه الطبقة وتسمي (ألسنة اللهب) أو (النتوءات الشمسية) ويصل ارتفاعها في بعض الأحيان إلى مئات الآلاف من الكيلومترات.



(شكل 29) منظر السحب من قمة جبل

ويوجد نوعان رئيسان للنتوءات الشمسية، نوع البقع الشمسية، والنوع الفجائي، في النوع الأول يكون المصدر الرئيس للضوء هو الأيدروجين كما هو الحال في الكروموسفير، وفي النوع الثاني توجد خطوط محددة تمامًا لأبخرة معدنية بالإضافة إلى الأيدروجين، وفي الماضي القريب وجد الفلكيون طرقًا جديدة مناسبة لرصد النتوءات الشمسية في أي وقت وليس في وقت الكسوف فقط، ويجري ذلك بأن يحجب قرص الشمس عن الرؤية في التلسكوب بعناية، وذلك بواسطة قرص معتم وباستخدام زجاج رائق تمامًا (لا يحتوي على أي فقاعات أو عقد) ومرشحات ضوئية من نوع ممتاز لا تسمح بمرور إلا جانب ضيق من الطيف، وقد أمكن في السنوات العشرة الأخيرة في الاتحاد السوفيتي وغيره من البلاد صنع مرشحات ضوئية ممتازة لا تسمح بمرور إلا خط طيفي ضيق واحد،

وكنتيجة لذلك أصبح في الإمكان أخذ صور متحركة للنتوءات الشمسية، وكشفت هذه الصور عن غرائب الانفجارات الشمسية الأمر الذي كان من المتعذر الوصول إليه من قبل.

وبين الفوتوسفير والكروموسفير تقع طبقة أخرى رقيقة تسمى الطبقة العاكسة، ومن المحتمل أن خطوط فراونهوفر الرئيسة تنشأ في هذه الطبقة، ويمكن خلال فترة الكسوف الكلي للشمس مشاهدة ظاهرة مدهشة هي الإكليل، وقد لا يحتاج الراصد إلى تلسكوب لمشاهدة هذه الظاهرة، والإكليل (شكل 31) يمتد ملايين الكيلومترات خارج حافة الشمس، ويكون تكوينه على العموم قطرياً، وفي بعض الأحيان تحيط الأشعة بقرص الشمس إحاطة تكاد تكون منتظمة من جميع الجوانب، وفي حالات أخرى توجد استطالة في الإكليل في اتجاهات معينة يمكن تمييز ثلاثة أطياف في المقطع العرضي للإكليل، وأكثر هذه الأطياف لمعاناً هو الطيف المتصل للحلقة الداخلية للإكليل لغزاً، وعادة يعزى هذا الجزء إلى تشتت أشعة الشمس في جو من الإلكترونات، ومع ذلك فلم يتمكن حتى الآن من بناء هذه الفكرة إلى الاكتمال بحيث تكون متفقة مع جميع الحقائق، والطيف الثاني متصل أيضاً ولكنه يحتوى على خطوط فراونهوفر، ويعزى إلى ضوء الفوتوسفير المنعكس (من الجائز أن يكون السبب في الانعكاس هو جسيمات الغبار الباردة نسبياً والبعيدة نوعًا ما عن الشمس).

والطيف الثالث خطي ويناظر الخاصية الضوئية للذرات، ويمكن اعتبار أن الطيف الثالث يظهر كنتيجة لقدرة الأبخرة على إرسال الضوء نتيجة لتأثير ضوء الشمس، والذي يؤيد ذلك هو بعض الصفات الغريبة

المعينة لاستقطاب الطيف، وعلى ذلك فالشمس محاطة بطبقة سمكها عدة كيلومترات من مادة في حالة مخلخلة، وتتركب هذه الطبقة جزئياً من الأبخرة وجزئياً من الغبار، وهذه الأبخرة والغبار يمكن طردها بعيداً عن الشمس بقوى كهربائية وبضغط الضوء، ومع ذلك فلا يزال إكليل الشمس من نواحٍ كثيرة ظاهرة غير مفهومة فمثلًا، يوجد احتمال في أن إضاءة الإكليل تنتج جزئيًا عن نوع من (التشتت الذاتي) للأشعة كنتيجة لتقاطع الحزم الضوئية الشديدة بالقرب من الشمس، ونظرية الضوء في الوقت الحالي تأخذ في اعتبارها هذا الاحتمال.

سنختتم هذا الوصف المبسط جداً للظواهر التي تحدث على سطح الشمس بكلمات قليلة من الطاقة التي تشعها الشمس، هذه الطاقة موزعة خلال الطيف بأكمله في كلا منطقتيه المرئية وغير المرئية، ويقع حوالي **40** في المائة من الطاقة في الجزء المرئي.

فلنفترض أنه لا يوجد جو للأرض على أساس القياسات المباشرة لطاقة الأشعة الشمسية التي تقع فعلًا على سطح الأرض وبمراعاة تأثير جو الأرض نجد أنه إذا لم يوجد جو فإن الأشعة الشمسية الساقطة تعطي كل سنتيمتر مربع من سطح الأرض في المتوسط طاقة قدرها سعرين صغيرين في الدقيقة أو **0,033** سعرًا في الثانية.

وفي الواقع يمتص جو الأرض جزءاً من هذه الطاقة، وبمعرفة هذا العدد الذي يسمى الثابت الشمسي يمكننا بسهولة حساب الطاقة الكلية التي تشعها الشمس في الثانية، وللقيام بذلك يلزم فقط أن نفترض أن الشمس تشع الطاقة بانتظام في جميع الاتجاهات وهو فرض طبيعي، وأن

نحسب مساحة سطح الكرة نصف قطرها **150** مليون كيلو متر (البعد بين الشمس والأرض) ثم نضرب هذه المساحة بالسنتيمترات المربعة في الثابت الشمسي أي في **0,033** سعرًا صغيرًا. والناتج يساوى تقريباً 10^{26} سعرًا صغيرًا في الثانية (العدد واحد على يمينه **26** صفرًا) وهذا العدد في حد ذاته ليس واضحاً، كما أن فكرة السعر ليست محددة تماماً، وعلى ذلك فمن المفيد للتوضيح إجراء العملية الحسابية الآتية:

وجد علم الطبيعة الحديث أن الطاقة تكافئ دائما كتلة، وأول وأهم دليل على هذا الترابط كان حقيقة أن الضوء يؤثر بضغط على الأجسام، وقد اكتشف ب.ن. لبيدييف هذه الحقيقة وقام بقياس مقدارها، وأثبتت تجاربه الممتازة والمتناهية في الصعوبة أنه إذا سود لوح بحيث يمتص جميع الضوء الساقط عليه فإن هذا الضوء يبذل ضغطًا على اللوح يساوى $\frac{ط}{ح}$ حيث (ط) هي الطاقة الضوئية الممتصة في الثانية، (ح) سرعة الضوء إذا لم يكن لون اللوح أسودًا ولكن على هيئة مرآة بحيث يعكس الضوء الساقط جميعه فإن الضغط يكون ضعف القيمة السابقة، وبعد بحث دام سنوات طويلة برهن لبيدييف بالإضافة إلى ما سبق على أن الضوء لا يؤثر بضغط على الأجسام الصلبة فحسب، وإنما على الغازات أيضًا وهذه الحقيقة هي من الدرجة الأولى في الأهمية بالنسبة لنظرية الظواهر الشمسية في الوقت الحالي.

ومن قوانين الميكانيكا ينتج أنه لوقف أي نوع من أنواع السيول (ماء، ضوء) التي تبذل ضغطًا في زمن قدره (ن) يجب العمل على أن يتعادل هذا السيل بقوة ق يمكن تعينها من المعادلة ق ن = ك ع حيث ك

ع هو حاصل ضرب الكتلة التي يعطيها السيل في سرعتها (ع) وهو ما يسمي بكمية الحركة وعلى ذلك فإن ضغط السيل ق يساوي التغير في كمية الحركة في الثانية، أو ق = $\frac{كع}{ن}$ ، في حالة السيل الضوئي ع = ح (سرعة الضوء). بمساواة العبارة المستنتجة للضغط بالعبارة التي تعطي ضغط الضوء والتي وجدت في تجارب لبيدييف، نجد أن:

$$\frac{كح}{ن} = \frac{ط}{حن}$$ وبتالى فإن ك = $\frac{ط}{ح^2}$

القانون المعطى فيما سبق يعين الكتلة (ك) المكافئة للطاقة (ط) ، وقد استنتجت هذه المعادلة البالغة الأهمية بتطبيق قوانين الميكانيكا على قياسات لبيدييف البصرية، وبالتالي يبدو لأول وهلة أن تطبيق هذا الاستنتاج المعطى هنا يختلف بعض الشيء عن استنتاج س. أفافلوف الذي يرمز فيه بنفس القيمة لكل من الطاقة الضوئية والقدرة الضوئية، ومن الممكن أن يؤدي إلى بعض اللبس في ذهن القارئ – الناشر.

فالمعادلة قاصر على موضوع الضوء، وكان أينشتين هو أول من برهن أن المعادلة ك $ح^2$ = ط

هي معادلة عامة وأنها يجب أن تكون صحيحة لجميع صور الطاقة، ومع تقدم علم الطبيعة الحديث وعلى الخصوص الطبيعة الذرية والنووية، تؤيد التجربة باستمرار ما وصل إلية أينشتين وفي الوقت الحالي يجب اعتبار هذه المعادلة واحدة من أهم العلاقات في العالم بأكمله.

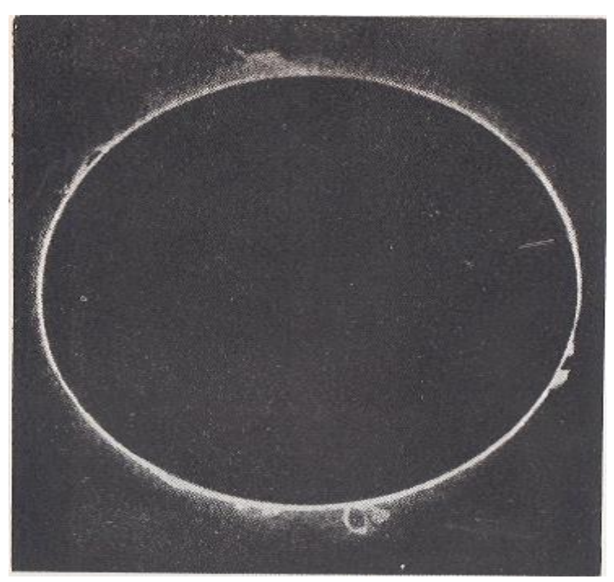
دعنا نطبق هذا القانون لحساب الكتلة الممثلة بالطاقة التي تشعها الشمس في الثانية سنجد أن العدد 10 سعراً صغيراً في الثانية الذي حسبناه فيما سبق يكافئ خمسة ملايين من الأطنان في الثانية. وبالرغم من أن هذه الكتلة كبيرة جداً في حد ذاتها فإنها ليست إلا جزءاً صغيراً جداً بالمقارنة بكتلة الشمس، وقد وجدنا فيما سبق (ص 86) أنه إذا أرسلت الشمس ألف مليون طن في الثانية فإنه يلزم 30000 مليون سنة لإنقاص كتلتها إلى نصف قيمتها الحالية، وحيث إن ما تفقده الشمس في الثانية هو خمسة ملايين طن فقط فإنه يلزم مرور 6000,000 مليون سنة إلى أن تبقى كتلتها إلى النصف.

وبنفس الطريقة يمكننا أن نحسب الطاقة التي تصل السطح الكلي للأرض ككتلة، ويجب أن نذكر دائمًا أن الجزء المضاء من الأرض في أي وقت هو نصفها فقط، وأن الثابت الشمسي ينطبق فقط على الأشعة التي يمتص منها شيء بالجو، ونتيجة هذه الحسابات هو عدد متواضع ويمكن تذكره بسهولة: 2كيلو جرام في الثانية.

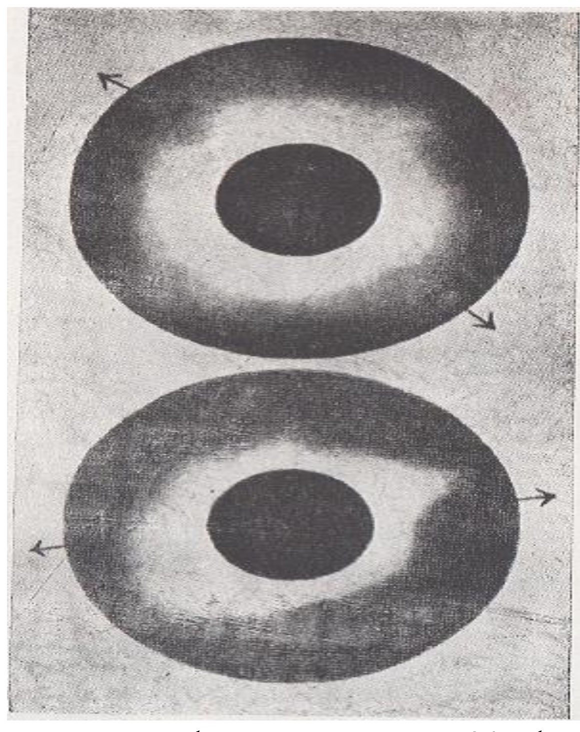
(شكل 28 أ) (شكل 28 ب)

صورة طيفية للشمس مأخوذة في ضوء خطوط الكالسيوم (أ) ، والهيدروجين (ب)





(شكل 30) منظر لكروموسفير الشمس وهو يبين الفورات



(شكل 31) منظر للشمس يظهر فيه الكروموسفير والإكليل

هذه الحسابات التي سهلت بعض الشيء فهم مقدار الطاقة التي تشعها الشمس، وهي في نفس الوقت ذات أهمية كبيرة فنحن يأخذنا العجب من كتلة الشمس ومن طاقتها التي لا تكاد تفنى، كيف تراكمت الكتل المماثلة الشمس؟ وأين هو مصدر طاقتها ذات الإشعاع المستمر؟ من المحتمل أن الكتل تجذب إلى مراكز شمسية بالجاذبية العامة، ولكن يظهر أن كتلة الشمس هي تقريبًا الحد الأعلى، هناك تراكمات للمادة تبلغ حوالي عشر مرات كتلة الشمس، ولكن الفلكيين لا يعلمون بأي نمو آخر ما هو السبب في هذا الحد؟ .

إن تراكم الكتل تحت تأثير الجاذبية العامة ينتج عنه تكوين ضغوط هائلة ودرجات حرارة عالية تبلغ عشرات الملايين من الدرجات، وذلك في الأجسام السماوية المضيئة.

وترتفع درجة الحرارة بشدة داخل النجم وتنتقل من الحرارة البيضاء إلى حرارة ضوء الأشعة السينية، ونتيجة لذلك يرسل النجم كمية كبيرة جدًا من الطاقة الإشعاعية، تنتقل من داخل النجم إلى الخارج وهذا الضوء الداخلي يضغط على كتلة النجم نحو الخارج، وبالتالي فإن ضغط الضوء يتعادل مع تأثير الجاذبية، وبالطبع لا يمكن أن يزيد رد الفعل هذا عن الجاذبية التي سببته، ولكن ضغط الضوء يعزز بالقوة المركزية التي تنشأ عن دوران النجم، وعندما يصبح مجموع ضغط الضوء والقوة المركزية مساويًا قوة الجاذبية يجب أن تتوقف أية زيادة في كتلة النجم.

والواقع أن الحسابات النظرية تبين أن كتلة من رتبة كتلة الشمس هي الحد الأعلى الذي لم يحدث بعده تراكم في الكون، هذا هو التفسير

الجزئي الذي يمكن للطبيعة الفلكية أن تعطيه فيما يختص بأصل كتلة الشمس، (7) العين والشمس

ولكن كيف تستبدل الطاقة التي تفقدها الشمس على هيئة إشعاعات؟ لقد ظن في وقت ما أن التعويض المطلوب يمكن الحصول عليه من الشهب التي تسقط على الشمس، والتي تبلغ كتلتها حوالي $\frac{1}{100}$ من كتلة الأرض كل سنة، وقد أشير أيضًا إلى نقص طول قطر الشمس بحوالي 75 مترًا كل سنة يجب أن يولد حرارة كافية لتعويض الحرارة المشعة، وبهذه الطريقة يمكن تفسير وجود الشمس بحالتها الآن على أساس أن عمرها يبلغ 100 مليون عام، ومع ذلك فإن هذه الفترة متناهية في الصغر، فكل من علم الجيولوجيا وعلم الطبيعة الفلكية يتطلب عددًا لا يقل عن عشرات الملايين من الأعوام كعمر للشمس، ومثل هذه الحياة الطويلة لا يمكن تفسيرها بالفروض المذكورة فيما سبق.

يجب البحث عن منابع إشعاعات الشمس والنجوم بطرق مختلفة تمامًا عن ذلك، طرق اكتشاف منابع الطاقة في علم الطبيعة الحديث، إن الارتباط بين الطاقة والكتلة – الذي بحثناه فيما سبق – يبين في صورة عامة للغاية أن أي تراكم للمادة يمكن اعتباره معادلًا للطاقة، ومقدار هذه الطاقة يمكن حسابه بضرب الكتلة في مربع سرعة الضوء، كل جرام من المادة يساوى 20000000 سعر، ولتوليد هذا القدر من الطاقة يلزم احتراق 20000 طن من الفحم.

لقد ذكرنا الفحم كمثال بسيط لأحد مصادر الطاقة الحرارية، وإن التفكير القليل في هذا المثال سيوضح لنا الأمور، كومة الفحم هي كتلة خاملة ومن الوجهة الميكانيكية شبيهة جدًا بقطعة من الحجر، وبقيت هذه الكومة من الفحم في حالة خمول لمئات الآلاف من السنين إلى أن وقعت في يد الإنسان الذي تمكن من تحويل الطاقة الكامنة للفحم إلى طاقة حرارية بحرقه في الأكسجين، كان هذا الكشف حدثًا هامًا جدًا في تاريخ البشرية فمعنى هذا الكشف، كما نعلم الآن، إطلاق الطاقة الكيميائية الكامنة للفحم، ولكن الناس في الوقت الحالي قد شاهدوا حدثًا آخر ذا أهمية قصوى في تاريخ البشرية، وهو بداية عصر السيطرة على الطاقة الذرية، تلك السيطرة التي سيتولد عنها مع الوقت مرحلة بالغة الأهمية للعلوم الهندسية الحديثة، مما سيجعل في الإمكان حل المشاكل الاقتصادية التي بقيت حتى الآن فوق طاقتنا.

عندما تنطلق طاقة نواة الذرة من عقالها بالعمليات المناسبة تكون أكبر بكثير جدًا من طاقة احتراق الفحم ومع ذلك ففي كلًا من الحالتين يكاد يكون الأساس واحدًا: استخدام الطاقة الكامنة في المادة بعد تحويلها إلى صورة حاضرة.

بأي طرق يمكن للطاقة الكامنة المكافئة للكتلة أن تتحول إلى طاقة ضوئية أو حرارية؟ ، حسب مبادئ علم الطبيعة الحديث يمكن الإشارة إلى ثلاث طرق لإجراء هذا التحويل الكلي لجسيمات المادة، مثل البوزيترونات إلى الضوء، في الباب السابق (ص64) بحثنا تحويل الضوء إلى مادة، تحول كم الضوء إلى بوزيترون وإلكترون، والعملية العكسية هي أيضًا

ممكنة واحتمال إمكان حدوثها تحت الظروف العادية صغير جدًا، ولكن داخل الشمس حيث تبلغ قيمة كل من الكثافة والضغط مقادير عالية جدًا، وحيث درجة الحرارة مرتفعة جدًا يكون احتمال حدوث مثل هذه العمليات أكبر بكثير.

وكنتيجة لهذه العمليات تظهر الكتلة الكلية للجسيمات المختفية على صورة طاقة ضوئية، ولكي نتجنب خطأ شائعًا يجب أن نذكر هنا أن الكتلة لا تتلاشى ولا تتحول إلى طاقة كما يذكر في بعض الأحيان، وإنما تبقى كتلة الفوتونات الناتجة وفقط تتحول الطاقة المكافئة من صورتها الكامنة إلى طاقة ضوئية حاضرة.

والطريقة الثانية لتحويل الطاقة الكامنة المكافئة للكتلة إلى طاقة حاضرة هي بتفكك النويات الذرية. وتفكك ذرة الراديوم هو مثال قديم معروف جيداً، ومع ذلك فنادراً ما تتم هذه العملية في الطبيعة ولا يمكن استخدامها كمصدر لأي كميات محسوسة من الطاقة، وكان اكتشاف انشطار اليورانيوم **235** تحت تأثير النيوترونات البطيئة خطوة هامة إلى الأمام في استخدام التفكك النووي كمصدر للطاقة. ويكون النظير المشع لليورانيوم (وزنه الذري **235**) $\frac{7}{10}$ في المائة من اليورانيوم العادي، والميزة الرئيسة لهذه العملية هي طبيعتها التسلسلية فكل انشطار نووي ينتج عنه نيوترونان، وهذان بدورهما يمكنهما أن يسببا الانشطار وهكذا نحصل على سلسلة من النويات المتفككة.

وكل تفكك أيضاً يصاحبه تولد مقادير محسوسة من الطاقة، وتكون هذه الظاهرة الأساس لجميع الطرق الفنية لتحرير الطاقة الذرية في الوقت الحاضر، وبالرغم من ذلك فإن هذه العملية السابق ذكرها ليس لها أهمية بالنسبة للشمس، وذلك لأنه حسب اعتبارات نظرية مقبولة للغاية لا توجد ذرات ثقيلة مثل ذرة اليورانيوم داخل الشمس.

ولكن توجد طريقة ثالثة لتحويل الطاقة الكامنة المرتبطة تماماً بالكتلة إلى صور حاضرة، وهذه الطريقة هي العملية العكسية للطريقة الثانية فبدلًا من تفكك النويات الذرية، تتضمن الطريقة الثالثة ربط وتجميع هذه النويات، وهذه الطريقة كانت معروفة منذ وقت طويل من مقارنة الأوزان الذرية، فمثلًا الوزن الذري للأيدروجين هو **1,0080** وللهيليوم **4,003** ولكن حيث إن الهيليوم يتكون من أربع ذرات من ذرات الأيدروجين فإننا نتوقع أن يكون وزنه الذري **4 × 1,0080 = 4,032**

والفرق **4,032 − 4,003 = 0,029** وهو مقدار محسوس.

والتفسير الوحيد لهذا الفرق هو أن تكوين نواة الهيليوم من نويات الأيدروجين يصاحبه تحويل مقدار محسوس من الكتلة المادية إلى كتلة إشعاعات أو صور أخرى من الطاقة، ومقدار هذه الطاقة هائل. فإن تحويل جرام من الأيدروجين إلى هيليوم يولد طاقة تساوي خمسة بلايين من الطاقة الحرارية التي تتولد نتيجة لاحتراق جرام الأيدروجين نفسه مع ثمانية جرامات من الأكسجين لتكوين الماء.

توجد أسباب قوية للفرض بأن تكوين نويات الهيليوم من نويات الأيدروجين (البروتونات) هي العملية التي تكون الأساس في الطاقة

الشمسية، ومن المحتمل أن يكون المعجل أو (العامل المساعد) في هذه العملية هو نواة الكربون، ومع ذلك فلم يثبت حتى الآن أن هذه العملية هي التي تسبب تحويل الطاقة الكامنة في النواة الذرية إلى إشعاعات داخل الشمس، والشيء المؤكد هو أنه توجد عدة احتمالات لأن يكون ذلك صحيحاً، ولا يوجد أدنى شك في أن الضوء الشمسي الذي يصلنا على الأرض هو نتيجة عمل آلة ضخمة استمرت في إطلاق الطاقة الذرية داخل الشمس لملايين من السنين، ولا يمكننا في معاملنا الأرضية أن نحصل على الضغوط ودرجات الحرارة الهائلة التي يجب أن توجد داخل الشمس، كما يوجد أمر ثابت تماماً لا يعتريه أي شك هو أن الإشعاع يؤدى إلى نقص مستمر في الكتلة الشمسية، فيمكن القول إن الشمس تحرق نفسها، ولكن ليس بالمعنى الكيميائي المألوف الذي يعني أن نتيجة الاحتراق تبقى خاملة غير مفيدة، ففي هذه الحالة تمر الكتلة إلى الفراغ الكوني في صورة طاقة فعالة هي الإشعاعات الضوئية، وكما رأينا فإن كتلة لترين من الماء تساوي كتلة الضوء الكلي الذي يصل من الشمس إلى الأرض في الثانية.

ولكننا نعلم جيداً أن الحياة على الأرض تتوقف على هذين الكيلو جرامين من الضوء بينما كيلو جرامان من الماء هما شيء لا قيمة له.

تحضر الأشعة الشمسية معها كتلة شمسية فالضوء ليس بمرسل غير عادي من الشمس (ولكنه جزء من الشمس نفسها يأتي إلينا في صورة حاضرة للطاقة أي في صورة ضوء).

العين

(تدين العين بوجودها للضوء، ومن الأعضاء المختلفة المساعدة في الحيوانات، تتطلب وجود عضو خاص به، وعلي ذلك فهذه العين ولدت في الضوء وللضوء ولكي يتقابل الضوء الداخلي مع الضوء الخارجي) جوته.

(تخلق أشعتك أعين جميع مخلوقاتك) ترنيمة للإله آتون.

لا تملك المخلوقات الحية عضواً أكثر وفاء أو أقوى دفاعاً من العين فالرؤية تعني تمييز العدو من الصديق وجميع التفاصيل المحيطة بالإنسان، وأعضاء الحس الأخرى تقوم بنفس المهمة ولكنها أقل بكثير في الدقة وأضعف من العين، فحاسة اللمس والشعور بالدفء تزودنا بمعلومات عن العالم الخارجي عند التلامس فقط، والسمع والشم اللذان يحضران الأخبار من بعيد يعطيان فكرة غير كاملة عن البعد والاتجاه والشكل، وعالم الطبيعة اليوم يقنع الآخرين بحقيقة الذرات بطريق غير مباشر وهو أننا قد نجحنا أخيراً في رؤية مسارات الذرات المتفرقة، بينما كان القدماء من الذين يقولون بعدم وجود الذرات يجادلون بأن أحداً لم ير هذه الذرات على الإطلاق، هذا هو معنى قول أنكساجوراس (الرؤية هي ظهور الأشياء المختفية) أي يصبح العالم الخفي حقيقة بالرؤية.

والمهام التي تقوم بها العين المثالية كآلة طبيعية هي مهام واضحة تماماً، فالأجسام المحيطة ترسل الضوء وتأخذ العين اتجاه الأشعة وطاقتها وتكوينها الطبيعي واستقطابها، ويجب أن يستقبل إحساس فردي منفصل

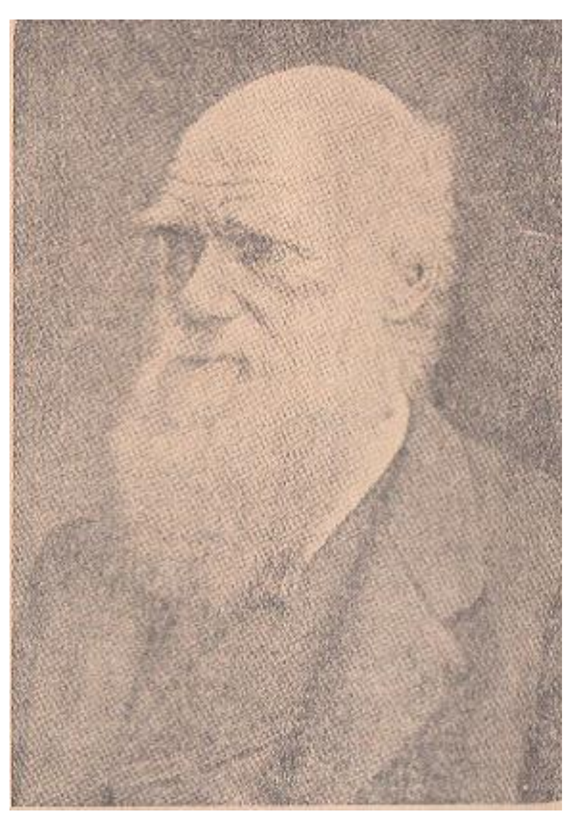
من كل نقطة من الجسم، جميع هذه الإحساسات مأخوذة معًا عند المركز المخي يجب أن تعطى ثانية نسخة مطابقة من السطح المشع بجميع تفاصيله الضوئية، وهذا طبعاً هو ما ينتظر من العين المثالية، والشيء الهام هو التصحيح الفراغي للرسالة، حيث يجب أن تصل إلى المخ معلومات صحيحة عن الشكل والأبعاد والمسافات، وبعد ذلك للمخ أن يقوم بضبط المعلومات التي وصلت إليه على حسب ما يتطلبه الجهاز العضوي.

وكما سنرى تكاد العين تقوم بهذه المهمة المثالية، ولكن ما هو أصل هذا العضو الحي الذي يستطيع أن يتغلب على الصعوبات الضوئية بصورة أفضل من عالم البصريات الحديث في بعض الأحيان، وذلك بالرغم مما يوجد تحت تصرف هذا العالم من معرفة طبيعية وفنية ضخمة؟.

أعطى داروين الإجابة عن الأسئلة التي من هذا النوع في نظريته عن التطور البيولوجي، فالعين هي نتيجة لعملية (اختيار طبيعي) طويلة جداً، أي نتيجة للتغيرات التي حدثت في الكائنات تحت تأثير الظروف المحيطة والصراع في سبيل الوجود، وذلك بغرض التلاؤم الأكثر مع العالم الخارجي.

ويضمن عامل الوراثة القوي الاحتفاظ بالصفات البيولوجية إذا كانت هذه الصفات تناظر الشروط الخارجية، وتعمل على زيادة حيوية العضو في صراعه للحياة، واختلاف تأثير الظروف المحيطة يسبب الفروق في الأفراد المختلفين، مما يعطي بعضهم في بعض الأحيان ميزات عن الآخرين، هذه الطريقة التي يحدث بها (الاختيار الطبيعي) وتبعًا له لا يبقى إلا الأقوى، والأكثر ملاءمة للظروف الخارجية.

حيث نجد جميع أنواع الحلول لهذه المشكلة البصرية في دور الحياة المحيطة بنا ذات الطبيعة المختلفة واللانهائية في العدد.



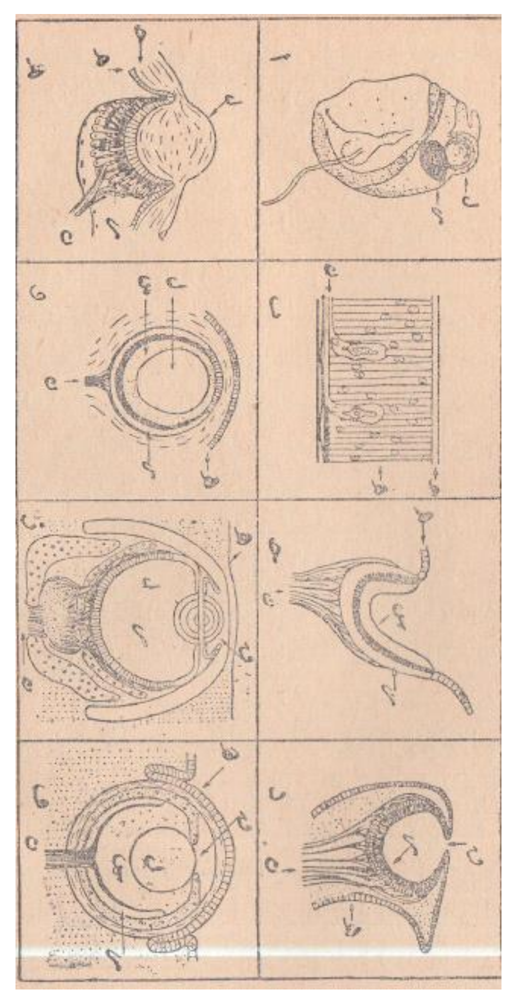
تشارلز داروين (1809–1882م)

ولا يوجد حل كامل ولكنها جميعًا تتفق في أن الجانب الأكبر منها معقول، وفي أنها من وجه نظر الإنسان (بارعة).

يعطي شكل (32) بعض الأمثلة عن الحلول المتعددة لمسألة البصر، (تصميمات) متعددة (لأدوات) الإحساس البصري بالعالم

الخارجي، وشكل 32، (أ) هو مثال لعين في حيوان ذي خلية واحدة، تتركب من عدسة كروية (ل) موجود أمام مادة حساسة، وطبعاً لا يمكن اعتبار هذا العضو جهازاً لإنتاج الصور، فالأبعاد المتناهية في الصغر للعدسة والشبكية تتسبب في ظاهرة حيود حاد مما يجعل الصورة مشوهة لدرجة كبيرة، وفي نفس الشكل، يبين شكل 32 (ب) الأعضاء البصرية لدودة الأرض، فليس لهذا المخلوق عيون، ولكن سطح جسم الدودة كله حساس للضوء، والخلايا البصرية (فقط عينية) متصلة بألياف عصبية وموزعة بانتظام على جسم الدودة كلها، وبالتالي لا توجد صور على الإطلاق، أما شكل 32 (ح)، فهو حل بدائي لمسألة البصر، يحدث الإحساس بالضوء بواسطة منخفض بصري يشبه الأذن، وهذه الوسيلة تمكن صاحبها من تعيين اتجاه الجسم المضيء تقريباً فقط. وفي شكل 32 (ء) نرى حلًا أرقى من ذلك لنفس المسألة – آلة تصوير حية مظلمة ذات فتحة (ق) صغيرة وفجوة داخلية حساسة للضوء (ر) وهذه هي الأعضاء البصرية للقواقع، الأمثلة الأربعة الأخيرة في شكل 32 (هـ) و(و) و(ز) و(ف) هي مراحل متتابعة في تحسين الأعضاء البصرية ذات العدسات، أولًا في حالة العقرب، ليست هذه الأعضاء إلا آلة بدائية جدًا: العدسة كرة موجودة بالقرب من الطبقة الحساسة (ر)، وهذه تشبه الكرات الزجاجية التي كان يستخدمها القدماء كما جاء في أساطير الأولين، كزجاجات حارقة، أو ميكروسكوب لوينهوك الذي كانت تستخدم فيه قطرات عسل النحل (كعدسات) تبين أشكال 32 (ء) و(ز) و(ف) التطور التدريجي للعين في السحلية. والسيفالبود إلى الفقاريات التي تشبه

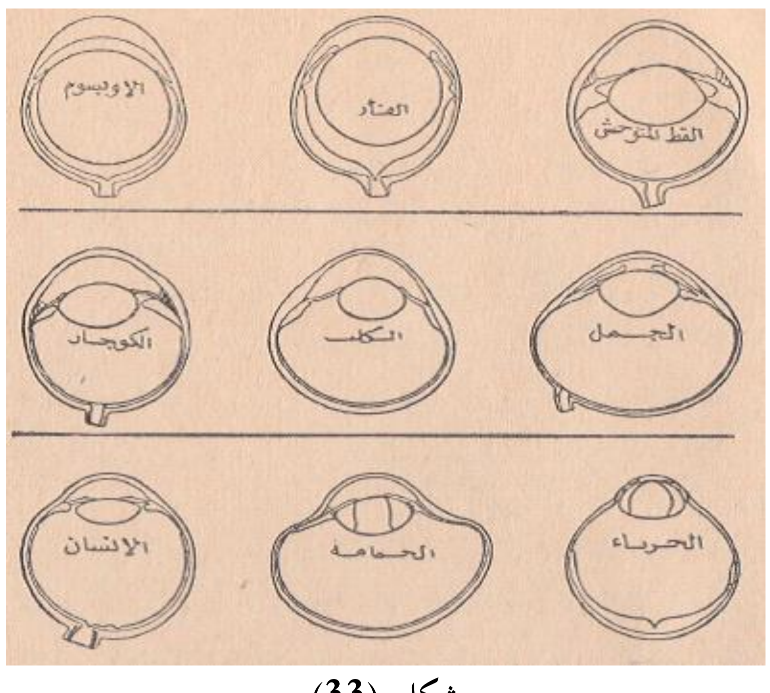
العين فيها عين الإنسان، ويبين شكل (33) المقاطع العرضية لعيون حيوانات فقارية متعددة تتضمن حيوانات ليلية (القطط المتوحشة والفأر والأوبسوم)، ونهاية (الكوجار، الكلب، الجمل، الإنسان، الحمامة، الحرباء).



شكل (32)

طرق مختلفة للإحساس البصري في عالم الحيوان

وواضح دون تعليق أن لهذه المشكلة من الناحية البصرية عدة حلول، إن الصفات الغريبة لأعين أسماك المياه العميقة التي تعيش عند أعماق يكاد يكون من المستحيل على ضوء الشمس أن يخترقها.



شكل (33)

إن هذه الصفات تثير أعظم الاهتمام، وهي مثل حي على تكييف الكائنات الحية نفسها للبيئة المحيطة بها، وقد يبدو أنه عند الأعماق الكبيرة لا يكون للسمك عيون على الإطلاق، حيث إنه ليس لها فائدة تذكر هنا، ولكن الحقيقة غير ذلك، توجد عيون لأغلب أسماك الأعماق، وفضلًا على ذلك فعيونها هي أكبر العيون (نسبيًا) في دنيا الفقاريات، وزيادة على ذلك فعيون فهذه الأسماك هي أكثر العيون حساسية في عالم الحيوان وهذا أمر

طبيعي، فكيف يمكن أن تتفق هذه الحقيقة مع عدم وجود ضوء عند مثل هذه الأعماق؟ الإجابة هي أولًا أن الآثار الضعيفة لضوء الشمس تصل فعلًا إلى عمق محسوس في البحر، وثانيًا أن ميزات الإحساس البصري في البحث عن الغذاء، وفي التناسل، وفي الصراع في سبيل البقاء، هي مبررات كبيرة بدرجة أنه من الأفضل والأنسب كثيرًا تقوية حساسية العين للضوء بدلًا من الحكم عليها بالضياع.

ولكن حقيقة وجود عين للمخلوقات التي تعيش في أعماق البحر لا ترجع فقط إلى اختراق قليل من أشعة الضوء الضعيفة لهذه الأعماق، فأسماك الأعماق ذاتها قادرة على إنتاج الضوء وبالتالي تضيء ما يحيط بها بعض الشيء وتصبح مرئية للحيوانات الأخرى التي تتمتع بحاسة الإبصار، ولهذا السبب توجد أعضاء مضيئة بجانب العين أو في أجزاء أخرى من الجسم، فالفوتوبليفارون بالبراتس والأنومالبس كاتوبترون المبينان في (شكل 34) لهما أنسجة مضيئة (مظللة بنقط في الرسم) بالقرب من أعينهما، وهذه الأنسجة تتوهج نتيجة للتأكسد، وتعمل كأضواء كشافة للأسماك فتضيء طريقها، والأشياء التي تقابلها، ولكن هذه الأضواء الكشافة قد تكون خطرة على من يملكها، وذلك لأنها تجعل هذه الأخيرة مرئية للأعداء، ولهذا السبب يوجد لكل من نوعي السمك المبينين في الشكل، ما يشبه جفون العينين، وذلك لتغطية الأضواء الكشافة عند الضرورة، والسمكة الأولى تقوم بذلك، بتحريك جزء جلدي خاص مظلم، بينما يمكن للثانية أن تسحب الأنسجة المضيئة إلى جيب خاص يحملها (شكل

34ج) ، و(المصابيح المضيئة) ليست نادرة على الإطلاق بالنسبة لأسماك المياه العميقة؛ فأكثر من تسعين في المائة منها لها مثل هذه الأعضاء.



(شكل34) أسماك لها أعضاء مضيئة متصلة بعينيها

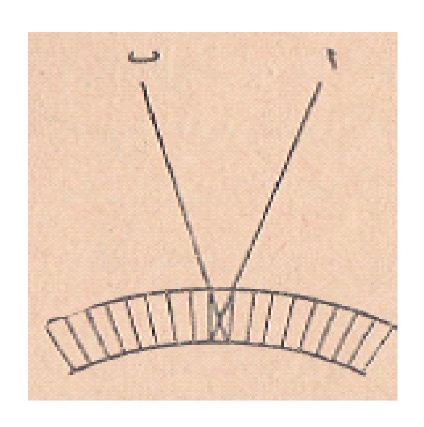
(أ) الفوتوبليفارون بالبراتس، (ب) رأس السمكة ومقطع عرضي فيها يبين العضو المضيء والستارة التي تغطيها، (ح) رأس سمكة الأنوفاليس كاتوبترون ومقطع عرضي لها ويمكن رؤية الجهاز الباعث للضوء والفجوة التي يختفي فيها.

وستكون أغلب دراستنا في الصفحات التالية خاصة بعين الإنسان، وهذا يرجع إلى الموضوع الرئيس لكتابنا، وهو الارتباط بين العين والشمس، وفضلًا عن ذلك فعين الإنسان فقط هي التي درست بالتفصيل وذلك بالرغم أننا لا نزال نجهل الكثير عنها حتى اليوم.

لنبدأ بمسألة الحيز، كيف تتوصل العين إلى التشابه الهندسي، وكيف تتمكن من تحديد البعد؟ يأتي الضوء معه ببعد واحد من أبعاد الفراغ، ألا وهو اتجاه الأشعة، ويجب أن يستخدم العضو الحساس بالنسبة لضوء ذلك البعد، فالضوء بالنسبة لفرع الشجرة الأخضر ليس فقط رسولًا من الأشياء المحيطة بها، وإنما هو أيضًا السبب في وجوده، يمتد الفرع في اتجاه الشمس وتوجهه الأشعة الشمسية، وتنمو الفروع النباتية أكثر في الناحية التي توجد فيها الشمس، وتنظم نفسها على الشجرة بحيث لا تظل بعضها وتحجبها عن الشمس، وكثير من النباتات والأزهار تنحني جذوعها تبعًا لحركة الشمس خلال النهار، وأزهار عباد الشمس المزروعة في مساحات كبيرة تتابع كمجموعة موضع الشمس، كما لو كانت تتلقى أمرًا بذلك، وإلى جانب النباتات يمكن ملاحظة هذا التغيير في الاتجاه نحو الشمس (الفوتوروبزم **Photoropism**) (ويكون سالبًا في بعض الأحيان) ، ويمكن ملاحظته بالنسبة لكثير من الميكروبات والكائنات الحية ذات التركيب البسيط جدًا، وهذه الاستجابة للضوء ولاتجاه أشعته وطاقته يمكن اعتبارها كنوع بدائي للرؤية.

وبعض الحشرات لها أجهزة تشبه العين وهي المبينة في (شكل**35**) لتعيين اتجاه الأشعة وإنتاج صور مرئية، فنجد مخروطات دقيقة مرئية على طريقة الموزايكو (تشبه خلايا النحل) فوق شبكية مكونة من أطراف الأعصاب.

وجوانب هذه المخروطات مبطنة بمادة ذات لون معتم تمتص الضوء مثل الشمع الأسود الذي يوضع داخل التلسكوب .



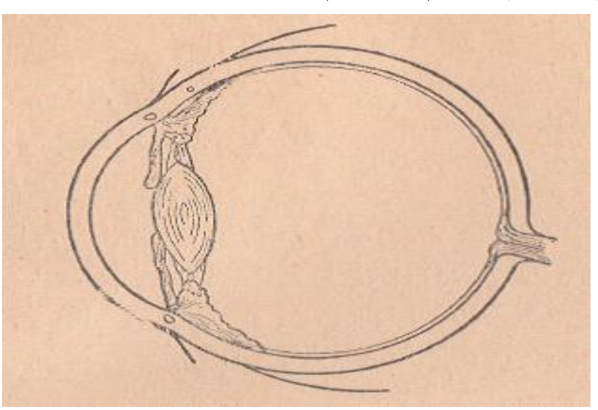
(شكل35)

والأشعة التي يمكنها الوصول إلى قاع إحدى هذه الخلايا المخروطية هي فقط الأشعة التي تقع بين الخطين أ ، ب والأشعة التي تقع على قاعدة أية خلية أخرى يكون لها قطاع مختلف، ونتيجة لذلك تستقبل الشبكية صورة تقريبية متداخلة يمكن للحشرة بواسطتها أن تحيط بشكل الجسم.

وقد كان الحال في التطور البيولوجي للعين مشابهًا لتطور الآلة الفوتوغرافية، حيث انتقل الإنسان بالتدريج من الآلة ذات الفتحة البدائية إلى تلك ذات العدسة الشيئية، وبالمثل سار التطور البيولوجي للعين من الأنابيب المتداخلة إلى الأجهزة البصرية ذات العدسات التي نجدها في الحيوانات الفقارية.

ويبين (شكل36) مقطعًا عرضيًا في العين البشرية، تكاد العين تكون كروية ويبلغ قطرها حوالي **16** مليمترًا وذلك لطفل حديث الولادة وحوالي **24** مليمترًا لشخص بالغ، وقطر كرة عين الحصان قد يصل إلى

51 مليمترًا بينما في حالة الفأر ينخفض هذا الرقم إلى 6مليمترات وفي الخارج تغطي العين بطبقة بيضاء سميكة (الصلبة) والجزء الأمامي من هذه الطبقة شفاف ومحدب (القرنية) ، ويبلغ سمكها حوالي $\frac{1}{2}$ ملليمتر وخلف القرنية توجد الحجرة الأمامية للعين التي يفصلها عن الحجرة الخلفية عدسة بللورية، وأمام العدسة مباشرة توجد القزحية التي لها فتحة تكاد تكون دائرية وهي تحد من نهايتي المقطع العرضي للحزمة الضوئية التي تدخل العين، وسمك الحجرة الأمامية والعدسة البللورية هو حوالي 3,6 ملليمترًا، والحجرة الأمامية مملوءة بسائل شفاف أما الخلفية فمملوءة بجسم شفاف يشبه الزجاج في مادته، ومعامل انكسار كل من السائل والجسم يساوي تقريبًا معامل انكسار الماء (1,336).



(شكل36) مقطع عرضي في العين البشرية

والسطح الداخلي للصلبة مبطن بغشاء دموي يمكن اعتباره كتنظيم توزيعي للأوعية الدموية التي تغذي العين، وعلى السطح الداخلي للغشاء الدموي (المشيمة) توجد الشبكية الخفيفة الحساسة، وهي تتركب من

طبقتين الخارجية أو الملونة، والداخلية أو الشبكية وهي تنظيم لأعصاب البصر.

والعدسة البللورية الشفافة تركيبها كالنسيج، وتحدب العدسة يمكن تغييره بواسطة العضلات الموجودة على القزحية، وأكبر معامل للانكسار في طبقات العدسة هو 1,41 ، وتنتج الصورة على شبكية العين بنفس الطريقة التي تنتج بها على لوح الكاميرا، وقابلية تغيير تحدب العدسة البللورية تسمح للعين بتغيير موضع بؤرتها، وبالتالي بإنتاج صورة محددة على الشبكية، حيث يمكن للأطفال أن يروا الأشياء بوضوح على بعد من 7 – 10سم من العين، والعين العادية للشخص البالغ تري الأشياء بوضوح بشرط ألا يقل بعدها عن العين عن 14سم، وبازدياد السن تضعف قابلية تغيير التحدب بدرجة كبيرة.

وعيوب العين (قصر وطول النظر) يمكن تصحيحها بالاستعانة بعدسات زجاجية صناعية – العوينات مبعدة أو مقربة، والصورة على الشبكية ليست صحيحة تمامًا، ولا تكون هذه الصورة مضبوطة تمامًا إلا إذا وقعت على محور العين ولم تكن كبيرة جدًا، ومع ذلك فيجب أن نلاحظ أن ما يسمى بالزيغ الكروي يصحح تمامًا في العين البشرية، ويرجع ذلك في الأساس لحقيقة أن كثافة الطبقات الداخلية للعدسة البللورية هي أكبر من كثافة الطبقات الخارجية.

وتتحسن الصورة عندما تتقلص الفتحة التي يدخل منها الضوء والتي تتحكم فيها القزحية، ويمكن اختبار ذلك بسهولة بالأشخاص طويلي النظر فمع الإضاءة الشديدة يمكنهم أن يروا الأجسام واضحة ومحددة على أبعاد

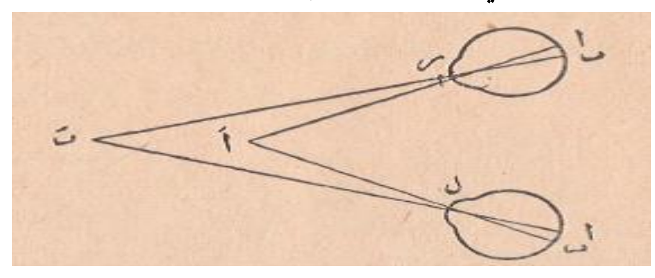
صغيرة (25–40سم) ، وكما نعلم يتقلص إنسان العين تحت هذه الظروف، وينتج عن ذلك صغر زاوية الفتحة التي تمر منها الأشعة للعين، ومن جهة أخرى يمكن لشخص طويل النظر قراءة الحروف الصغيرة نسبيًا على بعد صغير بدون الاستعانة بالعوينات، إذا هو نظر من فتحة صغيرة وذلك بإطباق يده وتقريبها من عينه.

ومع ذلك فهذه العيوب تعوض لحد ما بإمكان دوران العين بسهولة، إذ يمكن للعين أن تدور أكثر من 80 ° رأسيًا وأفقيًا، الأمر الذي يمكنها من أن تشمل بسرعة جميع نقط أي جسم كبير ينظر الشخص إليه.

والشكل المستوي تقريبًا للشبكية يعطي فكرة لا عن شكل الجسم فحسب وإنما عن أبعاده، وبعده عن العين أيضًا، وذلك حتى لو استخدمت عين واحدة فقط، وقد يكون السبب في ذلك هو أننا نرجع بما نراه بعين واحدة إلى المشاهدات السابقة التي نكون قد حددنا فيها أبعاد وحيز الأجسام المحيطة بنا مستخدمين العينين معًا، وتمكنا الخبرة السابقة والاعتياد من تعيين البعد والحيز في هذه الحالة، وتحدب العدسة البللورية هو أيضًا، بدون أدنى شك، ذو أهمية لأننا نحس لا شعوريًا بتوفرها ونتمكن بذلك من تقدير البعد، وأيضًا تلعب الحركات اللاشعورية للعين دورًا هامًا، فنحن نحصل على عدد من الصور للجسم في فترة زمنية صغيرة ومن اتجاهات مختلفة ونقدر البعد بمقارنة هذه الصور.

ومع ذلك فلا يمكن الوثوق بانطباعات البعد التي نحصل عليها باستخدام عين واحدة إلا بدرجة بسيطة، خذ قلمين في كل من اليدين وأغلق إحدى العينين وحاول أن تجعل طرفي القلمين يتماسان، في أغلب

الأحيان ستبوء المحاولة الأولي بالفشل، أما إذا نظرنا بالعينين معا فإننا سننجح حتمًا في هذه التجربة، عند توجيه العينين إلى جسم معين فالموضوعية والصور التي نحصل عليها في النهاية

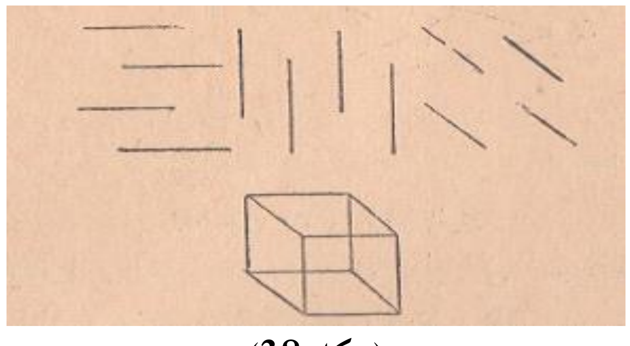


(شكل 37) الرؤية بالعينين

هي تصحيحات للصورة الطبيعية المباشرة التي تنتج على الشبكية، ويقوم المخ بهذه التصحيحات بطريقة أوتوماتيكية، وواحد من أهم الشواهد على وظيفة المخ هذه هو ما يقوم به من استقامة للصورة على الشبكية، ففي الواقع أن هذه الصور التي تنتجها العدسة البللورية تكون مقلوبة، والدور الذي يقوم به المخ في تصحيح الإحساس بالبعد هو دور كبير جدًا، في النصف الأعلى (لشكل 38) نرى العناصر الخطية لأبسط تمثيل شكلي للمكعب، وفي النصف السفلي نرى المكعب مكونًا من هذه العناصر ونحصل على الفور على انطباع الفراغ، وهذا بالطبع نتيجة لعمل المخ ويكون الأساس الصحيح للتمثيل الشكلي في الرسم المنظور لكي نجعل جسمًا يبدو بعيدًا فيجب تصغير أبعاده بنفس الدرجة في اللوحة، فإذا فرضنا أن رجلًا يقف على بعد يساوي ضعف بعد رجل آخر عن الشخص

الذي سينظر إلى الصورة فيجب أن يرسم الأول بمقياس يساوى نصف المقياس الذي يرسم به الثاني.

وبالرغم من ذلك فإن كلًا من هذين الرجلين المرسومين في اللوحة سيبدوان لنا بنفس الطول، وذلك لأن مقياس الرسم الصغير يمكننا فقط من تصور الجسم على بعد يساوي ضعف البعد الفعلي.

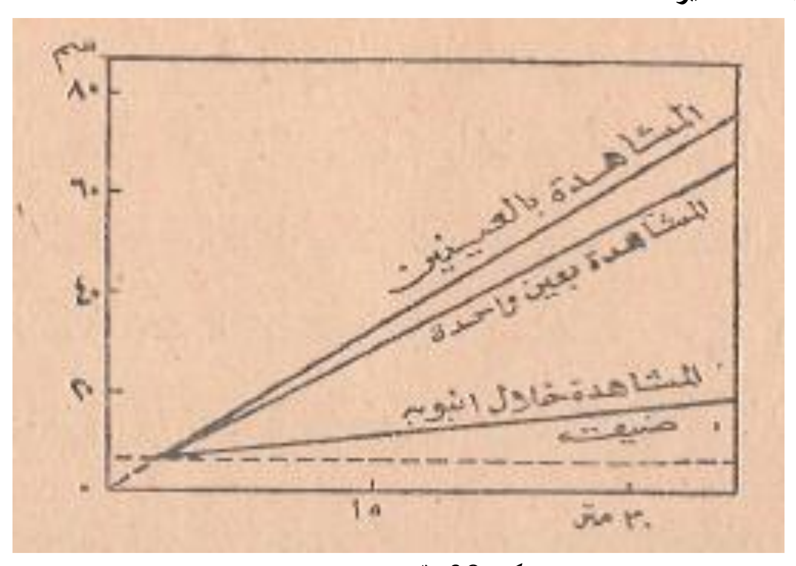


(شكل 38)

إدراك المنظر. الخطوط الاثنا عشر الموجودة في أعلى الشكل تبدو واقعة في مستوى واحد والكعب الذي نحصل عليه بتحريك هذه الخطوط معا في اتجاه مواز نحس به كصورة فراغية.

يعطي (شكل 39) نتائج التجارب التي أجراها جلواي وبورنج عن العلاقة بين الحيز الظاهري لجسم وبين بعد هذا الجسم عن الشخص المشاهد، وكان الجسم في هذه التجربة قرصًا مضيئًا ولم تغير أبعاد الزاوية أثناء التجربة، بينما كان بعده من المشاهد يتراوح بين 3أمتار و36 مترًا وقد قورن الحيز الظاهري لهذا القرص بقرص آخر مضيء موجود على بعد ثابت يساوي 3 أمتار، وقطر هذا القرص الأخير يمكن تغييرة بحيث يساوي قطر القرص المتحرك.

إذا لم يقع المخ بتصحيحات أوتوماتيكية لأبعاد الصورة المتكونة على الشبكية فقد نتوقع أن تكون النتيجة المبينة في (شكل **39**) حيث يبين البعد بالأمتار على محور السينات، والحيز الظاهري بالسنتيمتر على المحور العمودي، قد نتوقع أن تكون هذه النتيجة خطًا مستقيمًا يوازي محور السينات (مبين كخط متقطع) وذلك لأن الأبعاد الزاوية للقرص بقيت ثابتة لا تتغير.



(شكل **39**) تجربة جلواي وبورنج

ولكن النتائج الفعلية مختلفة عن ذلك تمام الاختلاف، فبالنسبة لحالات المشاهدة الثلاثة بالعينين معًا على الفور، وبعين واحدة، وخلال أنبوبة ضيقة، في جميع هذه الحالات نجد أن الخطوط مائلة وأن الميل يقل باستمرار كلما استبعدت الأجسام المحيطة من مجال الرؤية.

والتجربة التي وصفناها فيما سبق تناظر من ناحية الكم الحقيقة المعلومة جيدًا، وهي أن أبعاد الأجسام القريبة لا يبدو أنها تتغير حتى ولو كانت هذه الأجسام تتحرك بعيدًا عنا.

ولا نتمكن من الملاحظة بوضوح أن الأشكال تصغر إلا إذا كانت على بعد كبير منا، ويكون من السهل ملاحظة ذلك إذا نظرنا من قمة برج عالٍ إلى أسفل، والأجسام المحيطة لها أهمية عظمى كعوامل تساعد المخ على عمل التصميمات إليها سابقًا لصور الأجسام الناتجة على الشبكية، إذا استبعدت الأجسام المحيطة نبدأ في الاقتراب من النتيجة الطبيعية المجردة، كما يظهر من الشكل.

وعلى ذلك فالصورة التي يستوعبها العقل ليست صورة طبيعية بسيطة، وإنما صورة معدلة قام المخ بتصحيحها دون أن نشعر بهذه الحقيقة، وهذا بالطبع أمر ذو أهمية بيولوجية عظمي، فالكائنات الحية لا تلزم لها الصور البصرية الصحيحة، وإنما الذي يلزم لها هو أفكار صحيحة عما يحيط بها من أشياء.

وفي (شكل 40) صورة طفل مستلق على ظهره والصورة مأخوذة من مكان قريب جدًا من الطفل.



(شكل 40) هذه الصورة لطفل مستلق على ظهره هي مثال على الفرق بين الصور البصرية والصور العقلية.

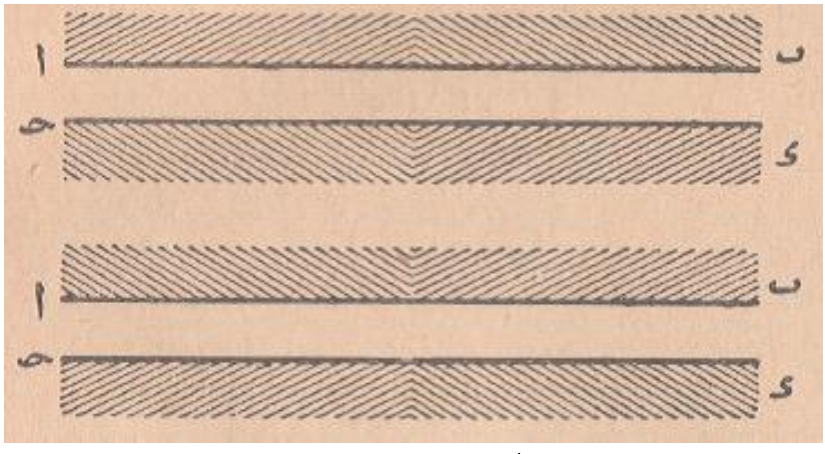
من وجهة النظر البصرية كل شيء سليم في الصورة ولكن الصورة تبدو لنا كرسم كاريكاتوري لا معنى له، فنعلا وكعبا الحذاء يبدوان أهم ما في الصورة، وطبعًا تدل هذه اللقطة الفوتوغرافية على عدم خبرة (حقيقي أو متعمد) للمصور، ولكنها صحيحة من وجهة النظر البصرية، إذا لم يقم المخ بالتصحيحات لما تراه العين، للاحقتنا باستمرار رسوم كاريكتاتورية مشابهة.

ولكن التصحيحات التي يجريها المخ قد تؤدي إلى أخطاء وخداعات بصرية، ولقد تعرض مؤلف هذا الكتاب في كثير من المناسبات لأخطاء فراغية كبرى، فذات مرة كانت قطعة صغيرة من الصفيح الأحمر معلقة كإشارة مرور من سلك الترولل وبدت لي كعلم أحمر مساحته كبيرة جدًا، وذلك لأن المخ أخطأ وربط بينها وبين قمة بناء بعيد موجود في نهاية الشارع، وفي مناسبة أخرى ولفترة زمنية قصيرة بدت إحدى القطط في

حجم البقرة وهي تسير على سور بعيد، وفي الواقع كانت القطة تسير على سطح منزل قريب من النافذة التي نظر إليها منها، والخطأ الذي حدث في تقدير البعد كان حوالي عشر مرات من هذا البعد.

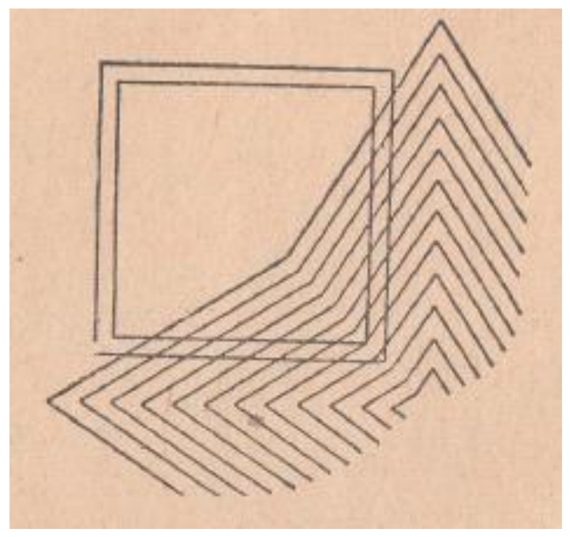
على الأفق، الشمس والقمر يبدوان كبيرين جدًا بينما يظهران عند السمت أصغر بكثير من ذلك. وهذا أيضًا بلا شك خطأ بصري شائع بين الناس، والسبب في هذا الخطأ لم يتضح تمامًا حتى يومنا هذا، والتفسير التالي هو أحد التفسيرات المحتملة عند تقدير شدة إضاءة السماء نعتبر لا شعوريًا أن ما يحدد الطبقة الجوية هو جزؤها الأخير الذي يرسل ضوءًا محسوسًا مشتتًا للعين وهذا أمر طبيعي، ونحن نرجع بجميع الأجسام الموجودة في السماء لهذه النهاية، وعند شروق الشمس وغروبها يكون أكثر أجزاء الكرة الجوية استضاءة هو نهايته الشرقية أو الغربية، وتتحرك حدود الجزء الأخير من الغلاف الجوي الذي يرسل لنا الضوء بسرعة أكبر بكثير، وبالتالي تصبح السماء أعمق ونحن نرجع بالشمس (أو القمر) إلى هذه الطبقة البعيدة، وبالتالي تقع في نفس الخطأ الذي وقعنا فيه في حالة علامة المرور وحالة القطة اللذين شرحناهما فيما سبق.

ولأسباب سيكولوجية يحدث الخطأ ليس فقط في الصور المجسمة، وإنما أيضًا في الأشكال المستوية. في (شكل 41) زوجان من الخطوط المتوازية ولكنهما يبدوان مثنيين ومنكسرين وذلك بسبب التظليل المحيط بهما، ولا يختفي هذا الوهم حتى لو ركزنا انتباهنا، ولا يمكن إثبات الحالة الحقيقية للخطوط إلا باستخدام حافة مستقيمة.



(شكل **41**) خداعات بصرية

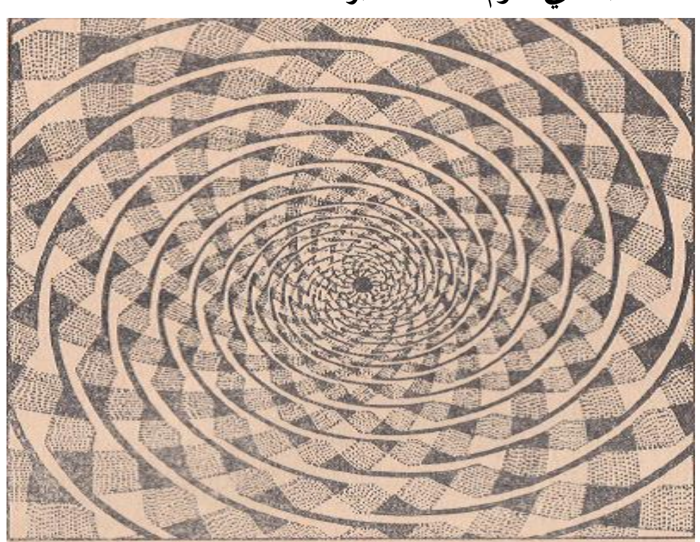
والرسم المبين في (شكل **42**) هو مربع منتظم ولكن التظليل المحيط بإحدى زواياه ينتج عنه شعور قوى بأن المربع مشوه، في (شكل **43**) رسمت عدة دوائر ناقصة ولكنها متحدة المركز تمامًا والرسم في إطار



(شكل **42**) خداعات بصرية

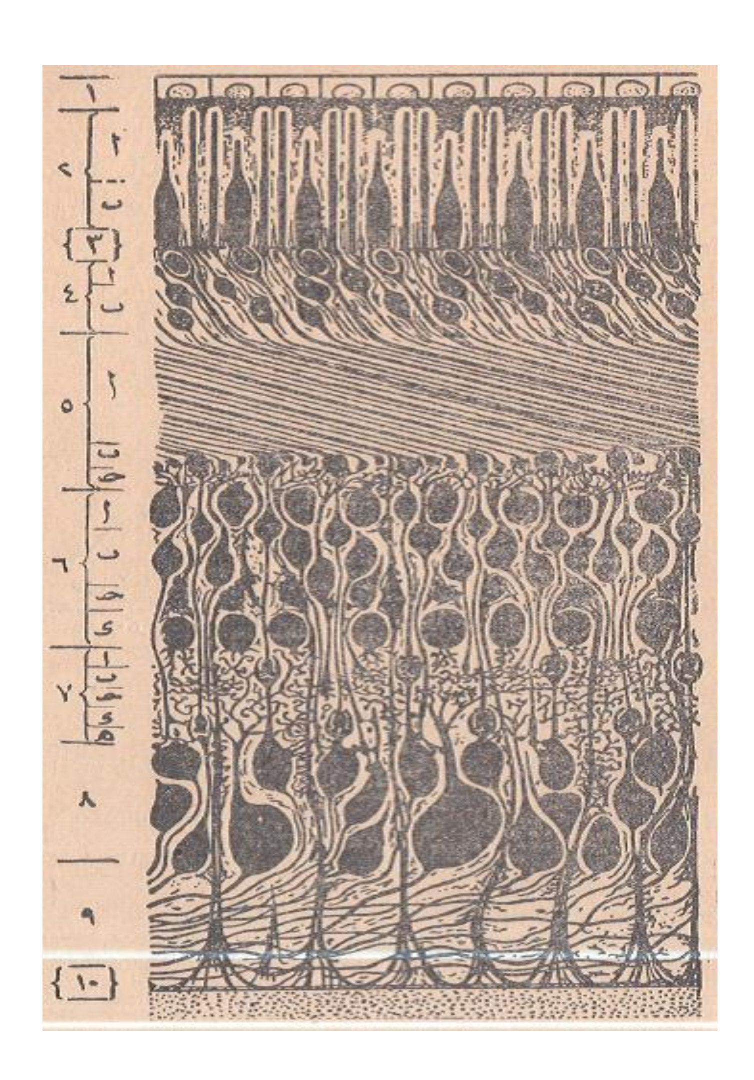
منقط، ومع ذلك فالانطباع الذي يستحيل تحاشيه هو انطباع شكل حلزوني، ولإثبات أن الحقيقة غير ذلك يجب استخدام منقلتين، وأحد أسباب هذه الأوهام البصرية هو أن التظليل المنقط يجعل العين تتحرك دون إرادة من خط لخط، إذا أضيئت الرسوم بالضوء اللحظي لشرارة كهربائية فإن الخداع يزول (على الأقل في بعض الحالات) في خلال الفترة الزمنية القصيرة التي تستمر فيها الشرارة، ويتعذر على العين أن تتحرك أي حركة محسوسة.

وعلى ذلك فالحل الذي تعطيه عين الإنسان ومخه لمسألة الحيز هو حل أبعد ما يكون عن الكمال. والآن فننتقل إلى مسألة الكيفية التي تقدر بها العين الطاقة والتكوين الطيفي للضوء.. ويستلزم لهذا الغرض أن ندرس تركيب الشبكية التي تقوم بهذا التقدير.



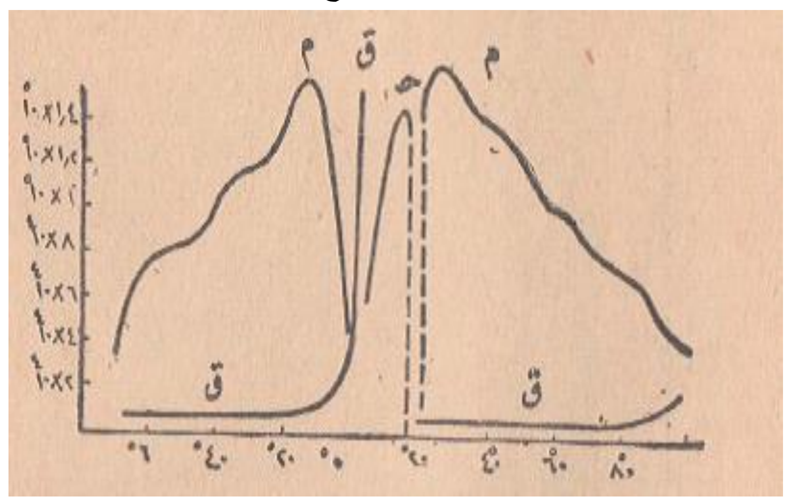
(شكل **43**) خداعات بصرية

(شكل 44) هو مقطع عرضي عام للشبكية بالطبقة الخارجية (1) التي تتلو الغشاء الدموي تتركب من خلايا ملونة بعد ذلك تأتي العناصر الأساسية للإحساس البصري (2) ، وهي تسمي بالقضبان والمخروطات بسبب شكلها، أما الطبقات من 3–5 تتركب من ألياف عصبية تصل إلى القضبان والمخروطات.



(شكل 44) مقطع أفقي في شبكية العين البشرية

وتحت هذه الطبقات يوجد ما يسمى بالطبقات الجزيئية، وهي الأخرى متصلة بألياف عصبية، والطبقة 8 هي الطبقة المجمعة وكل خلية من خلاياها متصلة بأحد الألياف العصبية في الطبقة 9 والطبقة 10 هي الغشاء الداخلي المحدود للشبكية، كل ليف عصبي ينتهي إما بمخروط وإما بمجموعة من القضبان وترتيب هذه الخلايا على سطح الشبكية ليس منتظماً على الإطلاق، وعدد المخروطات والقضبان كبير جداً (حوالي سبعة ملايين مخروط وأكثر من مائة مليون قضيب) (شكل 45) توزيع القضبان والمخروطات على الشبكية– تبعًا لأوستربرج .

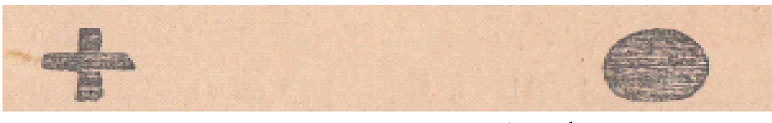


(شكل 45) توزيع القضبان والمخروطات على الشبكية– تبعًا لأوستربرج

عدد المخروطات (م) والقضبان (ق) عن كل كيلومتر مربع

والمخروطات والقضبان على مؤخرة العين، المبينة على المحور الأفقي هي لأبعاد الزاوية عن المنخفض المركزي، وعلى المحور الرأسي مبينة عدد المخروطات (م) وعدد القضبان (ق) عن كل ملليمتر مربع وتنقطع المنحنيات– عند نقطة عدم الإبصار التي سندرسها فيما يلي، ويبين الشكل أن المخروطات عددها كبير في مركز القرنية بينما يكثر عدد القضبان في اتجاه الأحرف، والقضبان ملونة بلون أحمر أرجواني يخفت بسرعة تحت تأثير فعل الضوء، وطول القضيب يبلغ حوالي 0,06 من المليمتر، أما المخروط فيبلغ طوله 0,035 من المليمتر وقطر القضبان يبلغ 2µ، وفي مركز الشبكية توجد ما يسمى «بالبقعة الصفراء» وهي بيضاوية الشكل (أكبر طول لها ملليمتران وأقصر طول 0,08 ملليمتر) وتكثر المخروطات في مركز هذه البقعة ولا توجد القضبان على الإطلاق في «المنخفض المركزي» وهذه هي النقطة التي تكون الرؤية عندها أوضح وأدق ما يمكن.

وبعض أجزاء الشبكية لا يوجد فيها مخروطات أو قضبان، وإذا أغلقنا عيننا اليسرى ونظرنا وثبتنا اتجاه الأخرى على الصليب الموجود في (شكل 46) فإن الدائرة السوداء الموجودة على اليمين ستصبح غير مرئية عندما تقرب الصفحة لحوالي 20سم من العين، ستقع صورتها على النقطة التي يدخل منها العصب البصري للشبكية، وهذه النقطة ليست حساسة للضوء (بقعة عدم الإبصار).



(شكل 46) رسم ماريوت لإيجاد بقعة عدم الإبصار

إن الطريقة التي تحس بها العين معقدة مع أن جزءها البصري بسيط فنحن لا نجهل فسيولوجيا الأجزاء المتفرقة في الشبكية فحسب، وإنما نحن لا نستطيع حتى أن نعرف كيفية توزيع الخلايا الحساسة للضوء على الشبكية، ولا الغرض الذي تخدمه بقعة عدم الإبصار...إلخ.

فالذي أمامنا ليس جهازاً طبيعياً مصنوعاً، وإنما عنصر حي تتداخل فيه المزايا مع العيوب، ولكن كل ما فيه متصل اتصالًا وثيقًا مكوناً شيئاً كاملًا حياً.

والآن فلنقدر طاقة الضوء الذي يأتي للعين، من الصعب فصل هذه المسألة عن مسألة لون الضوء، فالعين لا تستقبل انطباعات رؤية إلا من الأشعة التي يقع طول موجتها بين **400** مμ، **750** مμ. الأشعة فوق البنفسجية من **400** إلى **300** مμ ، والأشعة تحت الحمراء من **750** إلى **950** مμ لا يمكن رؤيتها إلا في الإشعاعات ذات القوة العالية جداً نسبياً، والرؤية في هذه المناطق تتوقف في الدرجة العظمى على عمر الشخص المشاهد، وتختلف اختلافاً واسعاً بالنسبة للأشخاص، وسنقتصر في دراستنا على هذه الحدود من أطوال الموجات، في الباب السابق رأينا أن طاقة الضوء الشمسي الذي يسقط كل ثانية على كل سنتيمتر مربع من سطح الكرة الجوية المحيطة بالأرض يساوي **0,033** سعر صغير، وحوالي **40** في المائة من هذه الطاقة يأتي من الأشعة المرئية، فتحة قزحية العين

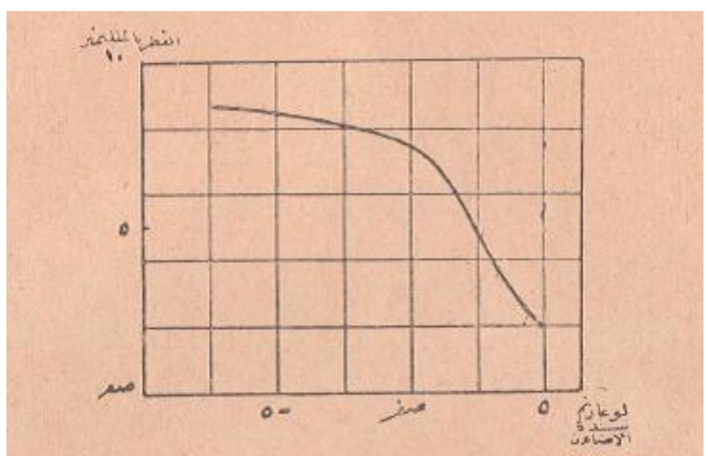
عندما تكون أكبر ما يمكن لا تتعدى 0,07سم مربع، ويمكن أن نحسب بسهولة من هذه الأعداد أن أكبر طاقة لضوء للشمس المرئي الذي يمكنه دخول العين في الثانية لا يتعدى $\frac{1}{100}$ سعر صغير، وطبعاً يمكن تجاوز هذا الحد آلاف المرات إذا ركزنا الضوء الشمسي أو ضوء قوس كهربائي بواسطة مرآة أو عدسة، ولكن مثل هذه المرايا والعدسات لا توجد في الطبيعة، وبالتالي فإن مثل هذه الحقائق لا يمكن أن يكون لها تأثير على تطور العين، وعلى ذلك يمكننا أن نستبعدها من دراستنا، وإذا تجمعت طاقة $\frac{1}{100}$ سعر صغير في الثانية في منطقة الأشعة الخضراء التي طول موجتها 556 مµ (أكثر نقط العين حساسية) يمكن للعين أن تحصل على نفس الانطباع البصري الذي نحصل عليه من مصباح كهربائي ذي 200000 شمعة على بعد متر واحد، وهذا هو الحد الأعلى.

ومن ناحية أخرى يجب أن تتمكن العين من الإحساس بالضوء الضعيف جداً في الليالي المظلمة عندما تكون شدة الاستضاءة أقل من واحد من مليون من الشمعة، وعلى العين أن تكيف نفسها لأي شدة استضاءة في هذا المدى الشاسع، وذلك لكي تكون ذات فائدة لمخلوق حي على الأرض.

وتوجد ثلاث طرق لتكيف آلة فوتوغرافية للتغير في اللمعان، أولًا مدة تعريض الجسم المطلوب تصويره للضوء ويمكن أن تتغير من أجزاء من الألف من الثانية إلى ساعات وأيام، وثانياً فتحة الشيئية يمكن تغييرها، وثالثاً تختلف حساسية الألواح الفوتوغرافية المستعملة اختلافًا واسعًا ويمكن اختيار الألواح المختلفة التي تناسب الإضاءات المختلفة، الطريقة الأولى لا

يمكن استخدامها مع العين وذلك لأنه يجب على العين دائمًا أن تأخذ صوراً لحظية، وتستخدم العين الطريقة الثانية، ففتحة القزحية يمكن أن تتسع أو تضيق أوتوماتيكيًا تبعًا للمعان الضوء، وأكبر قطر للفتحة حوالي 8مليمترات في المتوسط وأصغر قطر حوالي مليمترين وعلى ذلك فمساحة الفتحة يمكن أن تتغير وتزيد إلى 16 مرة من قيمتها الصغرى

ويبين (شكل 47) كيف يتغير قطر إنسان العين نتيجة لازدياد اللمعان، لوغاريتمات اللمعان محسوبة على محور (س) بينما أقطار إنسان العين مبينة على محور (ص).

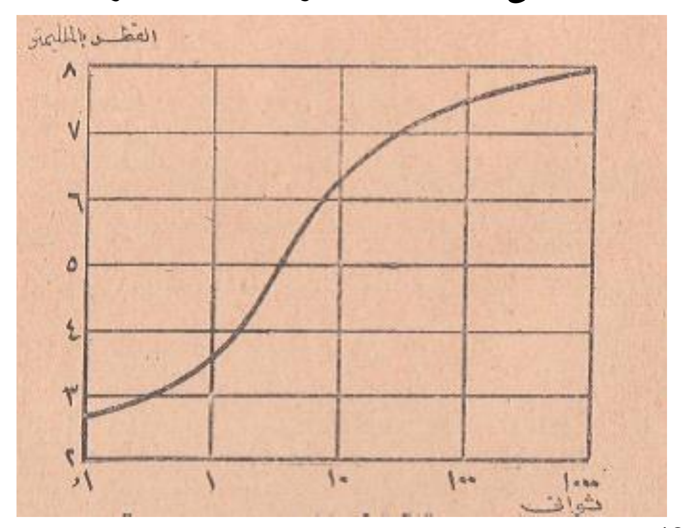


الشكل 47 تغير قطر إنسان العين تبعاً لزيادة شدة الإضاءة

ويبين (شكل 48) كيف أن قطر إنسان العين يتغير بمرور الوقت بعد أن ينتقل من حجرة مضاءة جيداً إلى أخرى مظلمة، وتوضح هذه الأشكال أن تغير قطر إنسان العين غير كاف على الإطلاق لتعويض التغير في اللمعان الذي يقابل العين، وبالتالي فإن الطبيعة تستفيد من الطريقة الأساسية الثالثة، عندما تكيف العين نفسها للظلام تزداد حساسية

الشبكية، في هذه العملية يكون سلوك المخروطات مختلفاً تمامًا عن سلوك القضبان، بينما تزداد حساسية المخروطات عدداً قليلًا من المرات بالنسبة لحساسيتها في ضوء النهار، تأخذ حساسية القضبان في الزيادة ببطء (لمدة ساعة أو أكثر) في الظلام التام وتصل إلى مئات الآلاف من المرات من قيمتها في ضوء النهار وتقف عند حد معين.

والحساسية النهائية هي بحيث تتجاوب العين مع ضوء طاقته 5×10^{-18} سعراً صغيراً في الثانية عن كل سنتيمتر مربع، عندما يكون طول موجة الضوء 500م μ ، ومع ذلك فإن هذه القيمة تختلف باختلاف الأشخاص وتعتمد على ظروف التجربة (مصدر ضوئي صغير أم كبير، إضاءة مستمرة أم متقطعة) ، وإلى جانب ذلك فللوصول إلى مثل هذه الدرجة العالية من الحساسية يجب أن تنتج صورة الجسم في مكان غير مركز الشبكية إنما على محيطها حيث تكون الحساسية أكبر.



شكل 48: تغير قطر إنسان العين مع الوقت عند الانتقال من حجرة جيدة الإضاءة إلى الظلام

ويتم ذلك أن تحول العين أو بعبارة أخرى بالنظر جانبيًا.

وإذا وضعت شمعة على بعد متر من العين فإنها ترسل لها حوالي جزأين من العشرة من المليون (2×10^{-7}) سعراً صغيراً في الثانية لكل سنتيمتر مربع، وذلك على صورة أشعة مرئية، ولكي نقلل من هذه الكمية إلى 5×10^{-8} سعراً صغيراً يجب أن تنقل الشمعة بعيداً عن العين بحوالي 200 كيلو متر، وطبعاً نفترض أن الجو لا يمتص الضوء، وهو فرض مخالف للواقع في الحقيقة.

فقد اتضحت المقدرة المذهلة التي تستطيع العين بها أن تكيف نفسها للتغير في الإضاءة على الخصوص في السنوات الأخيرة، ومن المقطع العرضي للشبكية (شكل 44) يمكن ملاحظة أن الطبقة الخارجية تحتوي على حبيبات سوداء، والغرض من هذا اللون بدون شك هو إضعاف الضوء الذي يمر إلى القضبان والمخروطات، وحمايتها بالتالي من الضوء ذي الشدة الزائدة، ولكن يظهر أن هذه الحماية تصبح غير ضرورية وربما تعوق الرؤية في الليل عندما تكون الإضاءة ضعيفة، وقد بينت دراسة فصائل معينة من الحيوانات (الأسماك والأمفيبيا) أنه في الضوء الخافت ينخفض اللون الأسود بالتدريج من طبقة الشبكية العليا إلى طبقتها السفلى، وبالتالي لا يعوق مرور الضوء، وقد يكون انتقال اللون الأسود إلى أسفل الشبكية قد اعتبر أنه عملية تكييف العين التدريجي للظلام، ولكن وجد أنه بالنسبة لحيوانات أخرى (مثل القرود) من المحتمل أن اللون لا ينتقل على الإطلاق وهذه المسألة هي مسألة لا تزال تنتظر الحل النهائي.

لقد ذكرنا فيما سبق أن فتحة القزحية تضيق عندما تزداد الإضاءة ولكن في أثناء الإصابة بأمراض معينة، أو عندما يحقن العضو بمواد معينة، يتوقف إنسان العين عن الانقباض ويبقى مفتوحًا مهما كانت شدة الاستضاءة، ومع ذلك فإن خطر عمى العين نتيجة لذلك يتفادى.

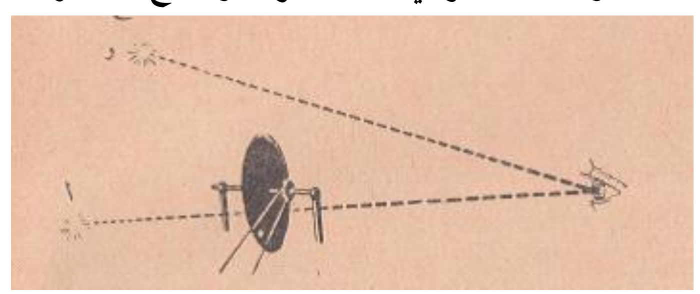
وأشعة الضوء التي تسقط على حرف إنسان العين المتسع عندما تكون الإضاءة لامعة تسبب إثارة بصرية على الشبكية أضعف بحوالي الخمس المرات من تلك التي تتسبب عن الأشعة التي تمر خلال مركز إنسان العين، ولا تزال الكيفية التي يمكن بها التوصل لذلك مجهولة ولكن على أية حال، من المشكوك فيه أن الجزء المركزي من إنسان العين يقوم بالجانب الأكبر من العمل في حالة الإضاءة اللامعة حتى لو كانت الفتحة متسعة أكبر اتساع ممكن، ويؤثر الضوء المار خلال الأجزاء القريبة من حافة إنسان العين تأثيراً طفيفاً جداً على الشبكية، ومن ناحية أخرى عندما تكون الإضاءة ضعيفة تكون جميع أجواء إنسان العين متساوية في النشاط، وبالتالي فإن اتساعه الكبير في الظلام يزيد الإثارة التي يسببها الضوء زيادة كبيرة.

ومن الطبيعي أن نفترض أن اللون الأسود يلعب دورًا هامًا في الوصول إلى ذلك، وذلك بعدم تظليله الشبكية عندما تكون الإضاءة ضعيفة، ومع ذلك فحتى الآن لم يثبت انتقال اللون الأسود في العين البشرية.

ذكرنا في باب الضوء القانون العام لفعل الضوء: يمكن للضوء أن يمتص، وأن يؤثر بكمات كاملة فقط. وبعبارة أخرى يستحيل صنع جهاز

يتجاوب مع طاقة أقل من كم واحد لسبب بسيط هو أن الضوء لا يمكن كشفه إلا عن طريق تأثيره، وتناظر طاقة قدرها 5×10^{-18} سعرًا (لطول موجة 500م μ) 52 كمًا، وهذه الاثنان والخمسون كمًا «محدودة» في فترة ثانية، وعلى ذلك فمن الواضح أن في استطاعة العين الإحساس لحظيًا بعدد صغير جدًا من الكمات، أي أنها تقترب في خواصها من جهاز مثالي وذلك من ناحية الحساسية.

باستخدام هذه الحقيقة يمكننا مشاهدة التركيب الكمي المتقطع للضوء بالعين المجردة، تصور أننا ننظر إلى بقعة صغيرة جدًا ومضيئة إضاءة خافتة، (شكل 49) ، ويمكن التحكم في لمعانها، لنفترض أن لمعان المصدر الضوئي نقص لدرجة أن عددًا قليلًا فقط من الكمات يأتي منه إلى العين في كل ثانية، لا يمكن للكمات أن تتتابع الواحدة بعد الأخرى بانتظام في فترات زمنية متساوية، وإنما تسير الكمات بغير نظام، بأعداد كبيرة في بعض الأحيان وبأعداد صغيرة في أحيان أخرى، وبالطبع المصادر



(شكل 49) شكل يبين جهازًا لمشاهدة التذبذب الكمي للضوء

الضوئية اللامعة ترسل أيضاً كمات على هيئة تيارات غير منتظمة، ولكن عدد الكمات في هذه الحالة يكون كبيرًا جدًا وبالتالي فإن احتمال

الانحراف عن القيمة المتوسطة يكاد يكون غير محسوس عمليًا. وهذه المسألة على نفس منوال الآتي: النسبة المئوية للاختلاف في عدد المواليد كل عام في مدينة كبيرة تكون صغيرة جدًا، ويمكن للإحصائي أن يتنبأ بهذا العدد بدقة، ولكن عدد المواليد في العام في منزل صغير في نفس المدينة يختلف اختلافًا كبيرًا من سنة لأخرى، وبالتالي فمن المؤكد أن تنبؤ الإحصائي في هذه الحالة سيكون خطأ.

وعلى ذلك فتبعًا لقوانين الإحصاء (إذا كانت نظرية الكم صحيحة) يجب أن نتوقع أن يتذبذب لمعان المصدر إذا هو أضعف لدرجة تجعل عدد الكمات التي تأتي للعين في الثانية صغيرًا، فإذا كان عدد الكمات التي تأتي للعين أصغر من العدد المناظر لأقل اضطراب بصري تحسه العين فإن العين تحس بأي ضوء، ومن ناحية أخرى إذا زاد عدد الكمات على هذا العدد فإن الضوء يصبح مرئيًا، وعلى ذلك إذا أضعف لمعان المصدر تدريجيًا فلا بد أن تأتي لحظة يبدأ بعدها المصدر في الخفقان خفقانًا محسوسًا.

ولكن هذه التجربة لا يمكن إجراؤها بمثل هذه الطريقة البسيطة وذلك لسببين: **أولاً–** العين سهلة الحركة كما ذكرنا من قبل ونتيجة لذلك يمكن رؤية الذبذبة في اللمعان عندما يكون عالياً أو منخفضاً. لهذا السبب يجب تثبيت العين ويتم ذلك بوضع نقطة (و) أشد لمعاناً (عادة تكون حمراء) عل أحد جانبي النقطة المضيئة (أ) (انظر شكل 49) ، وعلى ذلك تثبت العين بواسطة النقطة (و) حيث تنتج صورة هذه النقطة على مركز

الشبكية بينما تنتج صورة المصدر(أ) على أحد الجانبين وعلى بعد ثابت من المركز.

ثانياً- تملك العين خاصية الاحتفاظ بالانطباعات البصرية وهذه الخاصية مثلًا هي التي جعلت السينما ممكنة، ولكن هذه الخاصية بالذات هي بالطبع عقبة للإحساس بالذبذبات السريعة للمصدر الضوئي، فالذبذبات تتداخل وتختلط وتفقد تحددها بالنسبة للعين.

ويمكن التغلب على هذه الصعوبة بالطريقة التالية، بوضع قرص به ثقب واحد _ انظر شكل 49) بين العين والمصدر، يدور القرص دورة واحدة كل ثانية مما يجعل العين لا ترى المصدر إلا للفترة التي يستغرقها الثقب في المرور (عشر ثانية مثلًا) ، وبهذه الطريقة لا ترى العين الومضات القصيرة إلا مرة واحدة ف الثانية، إذا كان عدد الكمات خلال كل ومضة هو نفسه أكبر من الحد الأدنى ستكون هناك ومضة كلما مر الثقب، ولكن إذا كان عدد الكمات التي ترسل في الفترة التي يدور فيها الثقب يخضع لتقلبات إحصائية مفاجئة، فمن الواضح أنه لن توجد ومضة مرئية في كل فترة يمر فيها الثقب أمام العين وإنما في بعضها فقط.

لقد حققت التجربة هذا الكلام تمامًا، والواقع أنه مع اللمعان الشديد ترى العين ومضة كلما مر الثقب، ولكن عندما يضعف اللمعان تدريجيًا تبدأ الفلتات تحدث ويزداد عددها كلما قال اللمعان.

وتعد الومضات والفلتات وبتطبيق قوانين الإحصاء يمكن حساب عدد الكمات المرسلة تحت هذه الظروف في الوقت الذي تستغرقه كل

ومضة، وبالتالي قد تمكنا من إقناع أنفسنا بأن الضوء له صفة الكم وعدم الاتصال «وذلك بأن رأينا ذلك بأعيننا».

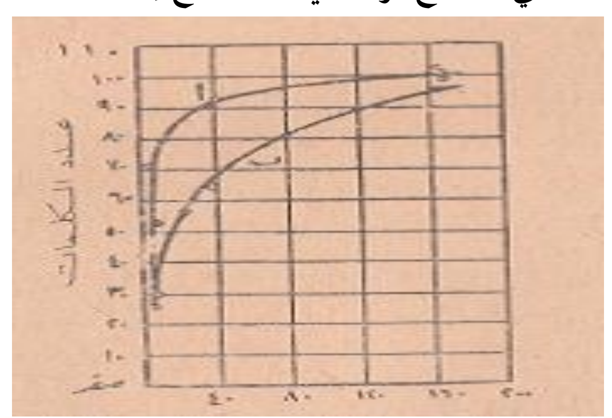
ومن الجدير بالملاحظة أننا بهذه الطريقة لا نحدد سياسة العين ككل وإنما نحدد حساسية الخلايا (القضبان) التي هي مسئولة في النهاية عن الإنارة البصرية، وتتفاوت حدود الحساسية التي وجدها المشاهدون المختلفون حتى الآن تفاوتاً كبيرًا جدًا، من فوتونين إلى عشرات الفوتونات الكمية، وقد أمكن رؤية الكمات المنفردة.

وإلى جانب أهمية التجارب التي شرحناها فيما سبق بالنسبة لنظرية الضوء ونظرية العين، إلى جانب ذلك تعطي هذه التجارب لرجل العلم طريقة جديدة لدراسة شبكية العيون السليمة والعيون المريضة، دون عمليات جراحية ومع بقاء العين في حالتها العادية.

وقد كنا نبحث حدود قيم الطاقة التي على العين أن تقابلها لكائن على سطح الأرض، ولكن العين يمكنها أن تتحمل ضوء الشمس المباشر بصعوبة، بينما لا تحمى العين باللمعان القريب من الحد الأدنى للاضطرابات البصرية إلا تحت إجهاد كبير، بعد النظر إلى الشمس للحظة وجيزة يتابعنا انطباع قرص الشمس على شبكية العين لفترة زمنية طويلة شيئًا ما، وإذا نظرنا إلى حائط أبيض نرى قرصًا معتمًا ملونًا عليها، وهذا هو جزء الشبكية المجهد، ويمكن أن يحدث إجهاد مشابه عن طريق المصابيح الكهربائية العادية إذا كان لمعانها عاليًا، ومثلًا بعد العمل الطويل بقوس كهربائي غير مظلل قد يستمر هذا الإجهاد عدة ساعات، وقد يسبب ضياع البصر في الحالات القصوى، وإذا نظرنا مدة طويلة إلى

الشمس أو إلى ضوء لامع فإننا نستمر في رؤية هذا الجسم اللامع بوضوح حتى بعد أن تغمض أعيننا، ويتغير لون الجسم ببطء كما تخفت شدة إضاءته ببطء أيضًا (الصور المتتابعة) ، والصور المتتابعة (موجبة وسالبة) هي علامة أكيدة للمعان غير عادي وفي بعض الأحيان تبقى صورة حصل عليها تحت تأثير إضاءة لامعة، تبقى على الشبكية طوال النهار والليل، وعلى الخصوص يمكن رؤيتها جيدًا في الليل أو الصباح المبكر والأعين مغمضة، وفي هذه الحالة يكون سلوك الشبكية مشابهًا لسلوك لوح فوتوغرافي، ومازلنا نجهل ماهية التغيرات في الشبكية التي تسبب هذه الظاهرة وعلى ما يبدو يوجد لمعان معين تتقبله العين أفضل من أي لمعان آخر وتتمكن من رؤيته دون إجهاد وتتحمله دون تعب.

و(شكل 50) هو تمثيل بياني للتجربة الآتية نطلب من الشخص الذي تجرى عليه التجربة أن يقرأ كتابًا مفتوحًا على بعد 25سم وأن نعد عدد الكلمات التي يستطيع قراءتها في الدقيقة مع إضاءات مختلفة الشدة.



(شكل 50) العلاقة بين سرعة القراءة والإضاءة

وهذا رسم للمنحنى بحساب شدة الإضاءة على المحور الأفقي بحيث تمثل الوحدة إضاءة شمعة واحدة على بعد متر من الكتاب، والإحداثيات الرأسية تبين عدد الكلمات المقروءة في الدقيقة، والمنحنى الأعلى (أ) يناظر العين العادية والمنحنى الأسفل (ب) يناظر عينًا متعبة بالعمل طويلًا تحت ضوء صناعي، ويمكن ملاحظة أنه في البداية تنمو القدرة على القراءة بسرعة مع زيادة الإضاءة ولكن عند 100 لوكس يتوقف النمو، هذه هي حقيقة بالغة الأهمية يجب أن تؤخذ في الحساب عند إضاءة المحلات والحجرات... إلخ.

وقد أظهرت التجارب العديدة التي أجراها مهندسو الإضاءة وعلماء الطبيعة في السنوات الأخيرة أن الكفاءة في الأعمال المختلفة تزيد زيادة محسوسة إذا زادت الإضاءة إلى 300، 500 لوكس وبدون أن تجهد العين إجهادًا محسوسًا، وهذا هو الحد الذي يجب أن يتجه إليه مهندسونا الإضائيون، ولم تنل الإضاءة الصناعية بعد الاهتمام الذي تستحقه.

وتتفاوت إضاءة البيئة المحيطة ولمعان الصور على شبكية العين تفاوتًا واسعًا، وتتوقف على فصول السنة وعلى ساعات النهار والغمام والأجسام المحيطة بنا (حقول، جليد) ، ومن المستحيل استنتاج «أفضل الظروف» لجميع الكائنات الحية، فهي تختلف في حيوانات النهار عنها في حيوانات الليل (البوم والخفافيش) ، والأخيرة لا تحتمل ضوء أضعف مصابيحنا وشموعنا، من وجهة نظر بيولوجية يجب أن تكون الإضاءة المناسبة نتيجة لتطور تكييف العين للإضاءة المتوسطة الناتجة على الأرض بواسطة الشمس، لا تكيف العين نفسها لطاقة الشمس وإنما لطاقة الضوء

الشمسي الذي يتشتت بالأجسام المحيطة، ويدل على ذلك فتحة العين المتغيرة وتغير حساسية الشبكية ووجود لمعان مناسب للعين.

ويجب ملاحظة أن إجهاد الشبكية لا ينتج عن الطاقة الكلية التي تدخل العين بقدر ما ينتج عن الطاقة عن وحدة المساحات من الصورة على الشبكية، وكلما زاد بعد شمعة صغرت صورتها ولكن «اللمعان النوعي» أي اللمعان عن وحدة المساحات من الصورة يبقى ثابتًا لمدى كبير من الأبعاد.

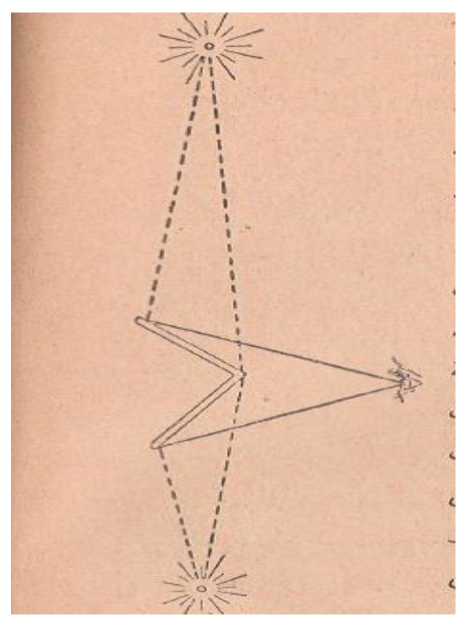
وبالنظر إلى صف طويل من مصابيح الطريق المضاءة في شارع من مدينة نجد أن لمعانها جميعاً يكاد يكون واحداً بغض النظر عن البعد (ضوء المصابيح البعيدة يضعف قليلًا نتيجة للامتصاص بالهواء المترب) ، أما إذا أضأنا سطحًا ما بواسطة ضوء المصباح الأول ثم الثاني والثالث.. إلخ. فهذا شيء آخر، وفي هذه الحالة سنجد أن الإضاءة تقل سريعاً جداً كلما زاد بعد المصباح، وتجهد العين إجهاداً سيئًا إذا نحن حدقنا في ضوء خافت، وذلك لأن صورة الشعلة على الشبكية ذات «لمعان نوعي» عالٍ، ولهذا السبب تجهز المصابيح عادة بغطاءات ومظلات لتشتت الضوء، وإهمال هذه الحقيقة هو السبب في الاحتجاجات الكثيرة التي تقول بأن المصابيح الحديثة المصنوعة على هيئة أنابيب رفيعة مضيئة تسبب «صداع العين» ويمكن التخلص من ذلك بسهولة بتظليل جوانب عدد من هذه المصابيح بمظلات لها ألواح مشتتة للضوء، وتصنع من أنواع معينة من الزجاج، وإذا لم يتم إجراء ذلك، نخفي المصابيح؛ فتعطى الضوء ولكنها تصبح غير مرئية،

وبالطبع أبسط الطرق هي أن تتجنب النظر مباشرة إلى المصباح وذلك بتوجيه العينين إلى الأجسام التي تضيئها.

حتى الآن لم تتعرض إلا لتقدير العين المطلق للطاقة الضوئية وهذا التقدير نوعي بحت: اللمعان الشديد «يؤلم» اللمعان الضعيف جداً يجعلنا «نجهد أعيننا» ، ويوجد لمعان يكون «مناسبًا ومقبولًا» لنا ولكننا لا نحس بالتغير في حجم إنسان العين ولا في حساسية الشبكية، وهاتان العمليتان فقط في استطاعتهما أن تعطيا تقديرًا حقيقيًا للمعان، ولكنهما لا تصلان إلى شعورنا، ونحن نلاحظ فقط النهاية الصغرى لمقدار الضوء (الحد الأدنى للاضطراب البصري) وذلك لأنه يتبع بعدم الإبصار كلية.

ولهذا السبب فقط يمكنا إيجاد حد أدنى للإحساس البصري من استخدام العين القادرة على المقارنة بين لمعان وآخر وعلى تمييز السطوح اللامعة من الأخرى المعتمة، وهذه المقارنات هي في حد ذاتها نوعية أيضًا ولكن يمكن استخدامها بسهولة في القياسات الكمية، بفرض أن سطحين متجاورين ولون كل منهما أبيض وأن كل سطح يضاء بمصباح منفصل (شكل **51**) ، سيبدو أحد السطحين أكثر لمعانًا بينما يبدو الثاني معتمًا أكثر، وتوجد طرق كثيرة للتقليل من شدة الضوء عددًا معينًا من المرات (وأبسط هذه الطرق تحريك المصباح بعيدًا) ، والآن دعنا نغير بعد أحد المصباحين عن السطح الذي يضاء به حتى يصبح لمعان السطحين متساوياً، عندما نقوم بإجراء ذلك يمكن القول إن أحد المصباحين أقوى من الآخر عدد ما من المرات، وذلك لأنه لزم إضعاف ضوئه ليعطي إضاءة متساوية مع إضاءة الآخر.

فمثلًا إذا وضعت شمعة على اليمين ومصباح قوته **16** شمعة على اليسار، وجب أن تضعف قوة الأخير إلى $\frac{1}{16}$ من قوته (مثلًا بإبعاده إلى مسافة تساوي أربعة أمثال بعد الشمعة عن السطح الذي تضيئه) للحصول على نفس الإضاءة وتسمى هذه الطريقة بالقياس الفوتومتري والأجهزة المستخدمة فيها بالفوتومترات.



(شكل **51**) رسم يبين الفوتومتر

ويوجد الآن عدد كبير من الفوتومترات المختلفة الأنواع والمبنية على تأثيرات الضوء الفوتوغرافية والفوتوكيماوية والفوتوكهربائية، ولا يقتصر استخدام هذه الأجهزة على قياسات الضوء المرئي، وإنما يمكن استخدامها لقياسات الضوء تحت الأحمر وفوق البنفسجي وهي أجهزة دقيقة جدًا،

ولكن الفوتومتر يثير اهتمامنا الآن من ناحية واحدة فقط، هي أنه يساعدنا على الكشف عن بعض خواص العين البشرية ذات الأهمية البالغة.

ماهي دقة العين في الحكم عما إذا كانت إضاءة سطحية متساوية أم لا؟ ما هو الفرق في الإضاءة الذي يمكن للعين أن تلحظه؟ بفرض مثلًا أن لدينا سطحين مضاءين بنفس الشدة: مصابيح كهربائية قوة 1000 شمعة على بعد متر واحد من كل من السطحين، هل يمكننا ملاحظة الفرق إذا أضفنا شمعة واحدة لأحد الجانبين؟ تظهر التجربة أننا لا نستطيع ذلك وأنه يجب إضافة حوالي عشرين شمعة لكي يصبح الفرق محسوسًا، وعلى ذلك فالنسبة بين أقل إضافة محسوسة للاستضاءة وبين الاستضاءة الأصلية هي 20: 1000 أو 2 في المائة، ويعطى جدول (2) النسب المناظرة للإضافات لقيم مختلفة لشدة الاستضاءة (بالشموع) للضوء الأصفر الذي طول موجته 605م μ.

وأعلى شدة استضاءة في الجدول 200,000 شمعة تساوي تقريبًا شدة استضاءة ضوء الشمس المباشر، يبين الجدول أن شدة الاستضاءة التي تكون حساسية العين للاختلاف في شدة الاستضاءة أو ضعفت عن هذه القيمة تضعف هذه الخاصية للعين، وتزداد النسبة المئوية للزيادة المحسوسة وذلك بالرغم من أن هذه النسبة تكاد تبقى ثابتة (حوالي 2 في المائة) بين 200، 20000 شمعة، وبالطبع فإن خاصية تمييز شدة الاستضاءة هي ذات أهمية كبيرة للمخلوقات الحية، فهي تمكنها من تمييز الأشياء عن بعضها البعض، والفترة التي تكون فيها الخاصة أقوى ما يمكن (200– 20000 شمعة) تناظر تقريبًا مدى شدة الاستضاءة التي تسببها

الشمس، والتي ذكرناها فيما سبق وبالتالي فإن قدرة العين على تمييز اللمعان مكيفة لتلائم الشمس، مثلها في ذلك مثل إحساس العين المطلق باللمعان ولكن ليس للضوء الشمسي المباشر وإنما الأشعة الشمسية المشتتة بالجو وبالأجسام المحيطة بنا.

القوة بالشمعة	النسبة المئوية لأقل إضافة محسوسة
200000	**4,25**
50000	**2,55**
20000	**1,83**
10000	**1,63**
5000	**1,58**
2000	**1,80**
1000	**1,98**
500	**2,25**
200	**2,35**
100	**2,78**
50	**3,78**
20	**4,60**
10	**6,10**
5	**10,3**

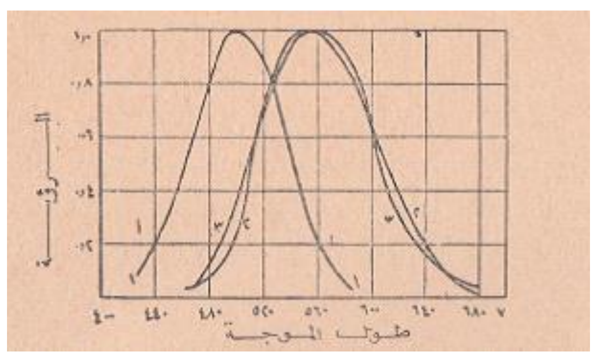
16,7	2
21,2	1
27,6	2,5
33,2	2,2

وتجاوب العين مع التركيب الطيفي للضوء يظهر خاصية تكيف العين للضوء الشمسي بأوضح ما يمكن، ولا توجد حدود لأطوال الموجات فنهاية الموجة الطويلة تمتد إلى ما لا نهاية بينما أقصر الموجات لا نهائية في الصغر، ويكاد مدى الموجات المرئية يفقد في هذا المجال الشاسع، نفرض أن أشعة موجات أطوالها مختلفة ولها نفس الطاقة سقطت على العين، فإن الأشعة تحت الحمراء لن تكون مرئية على الإطلاق أما الحمراء فسترى ولكنها ستكون ضعيفة، أما الأشعة الصفراء والخضراء فستبدو أكثر الجميع لمعاناً أما الأشعة البنفسجية فتكاد لا ترى، وأخيراً الأشعة فوق البنفسجية تكون غير مرئية بأجمعها.

وإذا أخذنا لمعان الأشعة الصفراء والخضراء على أنه الوحدة وقارنا لمعان جميع الأشعة الأخرى، حيث إن الطاقة متساوية في جميع الحالات (هذا الأمر صعب تحقيقه عمليًا) وستحصل على ما يسمى بمنحنى (الرؤية) للأشعة وهو المنحنى المبين في (شكل 52) ، في هذا الشكل أطوال الموجات مبينة على المحور الأفق والرؤية على المحور الرأسي، وعندما يكون اللمعان شديدًا نوعًا ما نحصل على المنحنيات الموجودة على اليمين، والمنحنى (2) يناظر العين المتوسطة بينما يناظر المنحنى (3) عين شخص

مشاهد بالصدفة، ويمكن ملاحظة أن النهاية العظمى تقع في منطقة الأشعة الصفراء والخضراء (556 مμ) وأن المنحنى ينخفض فجأة ويتماثل تقريبًا على الجانبين، والأشعة فوق البنفسجية إلى أمواجها طويلة (حوالي 360م μ) حيث تكون مرئية إذا كانت شدتها عالية ولونها بنفسجيا.

والأشعة التي أطوال موجاتها أقصر من ذلك حتى 300 مμ يمكن أيضا رؤيتها ولكنها تكون خافتة. مثل هذه الموجات تمتص لدرجة كبيرة بواسطة العدسة البلورية للعين، ولا يصل للشبكية منها إلا جزء صغير جدًا. ولكن حيث إنها تمتص فإنها تسبب لونًا أزرق في العين يمكن أيضًا للشبكية أن تراه.



(شكل 52) منحنيات الرؤية «للنهار» و «للشفق»

فمثلًا إذا نظرنا إلى مصدر قوي للأشعة فوق البنفسجية التي طول موجتها حوالي 250م μ لفترة زمنية طويلة، فإن شبكية العين البشرية كما بينا، حساسة تمامًا للأشعة التي يقع طول موجتها تحت400 م μ (النهاية التقريبية للطيف المرئي) ، ولكن هذه الأشعة تكاد لا تمر خلال الشبكية

على الإطلاق نظرًا لأن العدسة البلورية للعين تمتص الجزء الأكبر منها، فالعدسة لا تنتج الصورة على الشبكية فحسب، وإنما تعمل كمرشح للضوء وهي بذلك تحمي الشبكية من الأشعة التي يكون طول موجتها مساويًا 400م μ أو أقل، ويحجز الأشعة الزرقاء والبنفسجية حجزًا يكاد يكون كليًا، وبمساعدة العدسة على الإقلال من الزيغ اللوني في العين تصبح الصورة أكثر تحديدًا.

والأسباب المذكورة فيما سبق تعطي تفسيرًا تامًا من وجهة النظر البيولوجية، لكون الحد الأدنى للضوء المرئي هو حوالي 400 مμ.

دعنا الآن ننتقل إلى الحد الأعلى لإمكان الرؤية، لماذا تتوقف العين عن الرؤية في منطقة الأشعة تحت الحمراء؟ يمكن إعطاء سببين معقولين في هذا الخصوص أيضًا، نفرض أن العين كانت حساسة للأشعة تحت الحمراء كما هي الحال بالنسبة للأشعة الخضراء، في مثل هذه الحالة سيحدث أمر يصعب على الإنسان تصوره كما رأينا، جميع الأجسام المرفوعة درجة حرارتها تشع ضوءًا وإشعاعات الأجسام التي لم تسخن بشدة تتركز كليًا في منطقة الطيف تحت الحمراء، ودرجة حرارة جسم الإنسان، بما في ذلك فجوة العين، هي حوالي 37 مئوية، وتبعًا لقوانين إشعاع الحرارة يمكن حساب الحد الأعلى للإشعاع لجسم الإنسان وقد وجد أن قيمته تقع في المنطقة من 9–100 μ، وأن الطاقة المشعة عن كل سنتيمتر مربع في الثانية تساوي 0,012 من السعر، وبالطبع تشع الجوانب الداخلية للعين هذه الطاقة أيضًا، فالجزء الداخلي للعين يرسل ضوءًا تحت الأحمر بينما السطح الموجود داخل الفجوة يمتص بقدر ما

يشع، وتبلغ مساحة السطح الداخلي الكلي للعين 17 سنتيمترًا مربعًا بضرب 0,012 في 17 نحصل على القيمة 0,2 سعرًا، وهي الطاقة الكلية لضوء العين الذاتي غير المرئي والذي تمتصه العين ذاتها.

والآن لنفرض مؤقتًا أن هذا الضوء تحت الأحمر غير المرئي أصبح مرئيًا مثل الضوء الأخضر، وأن شمعة خضراء واحدة على بعد متر واحد ترسل طاقة قدرها 38×10^{-9} سعرًا في الثانية وعلى ذلك فإن 0,2 من السعر تكافئ 5 مليون شمعة، وفي هذه الحالة سيبدأ داخل العين يغمر بضوء تبلغ شدته ملايين الشموع، وسيكون الضوء الذاتي للعين أكثر لمعانًا من الشمس ومن جميع الأجسام المحيطة. ولن يرى الإنسان في هذه الحالة إلا الجزء الداخلي من عينيه وهي نفس حالة الإنسان الضرير.

ولهذا السبب يكون من الملائم جدًا ألا ترى العين الأشعة تحت الحمراء ذات الموجة الطويلة.

ولكن ما السبب في أن الأشعة تحت الحمراء التي طول موجتها أقصر من ذلك من 1 إلى 5 μ مثلًا، تكون هي الأخرى غير مرئية ؟ يظهر أن السبب في ذلك يرجع إلى ذات الطريقة التي تتم بها الرؤية. وهذه الطريقة غير معروفة حتى الوقت الحاضر، ولكن يمكننا أن نقول بثقة إن الرؤية يجب أن تبدأ عندما يبدأ إما التأثير الفوتوكيمائي للضوء وإما تأثيره الفوتوكهربائي، (التأثير الأخير ينحصر في سحب الإلكترونات من الجزيئات) ، ومع ذلك فإن العمليات الفوتوكيميائية أو الفوتوكهربائية لا يمكنها أن تحدث إذا كانت الطاقة أقل من نهاية صغرى معينة؛ إذ إن في هذه الحالة لا يمكن تحطيم الجزئ ولا فصل إلكترون منه.

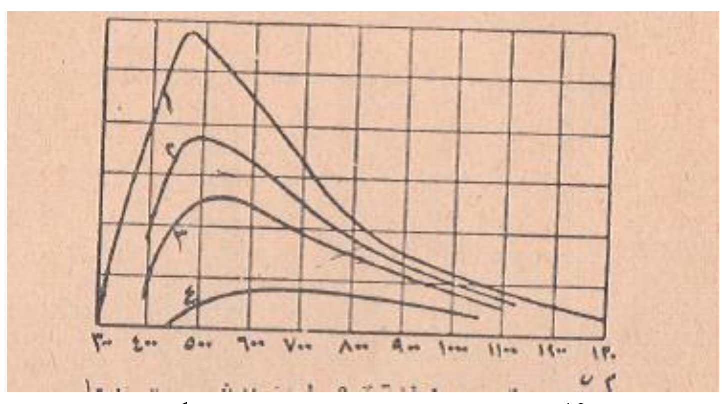
وتوجد عمليات فوتوكهربائية متعددة معروفة في الوقت الحاضر تمتد إلى مدى بعيد في المنطقة تحت الحمراء وذلك من وجهة نظر الحساسية الممكنة، حتى 5–6 μ (مثلًا ارتفاع درجة التوصيل الكهربائية تحت تأثير الضوء) ، ولكن الحساسية في هذه الحالات منخفضة جداً، والألواح الفوتوغرافية هي الأخرى غير حساسة لهذا المدى من أطوال الموجات.

جميع هذه الأسباب التي يعتمد بعضها على خواص ضوء الشمس والبعض الآخر على الخواص الغريبة لتأثير الضوء على المواد، جميعها يفسر تفسيراً كافياً لماذا لا تستطيع العين الرؤية إلا في المنطقة الضيقة من الطيف التي تقع بين0,4، 0,7 μ تقريبًا ؟؟.

ولكن لا يزال يوجد عامل شمسي يحدد هذا الاختيار الطبيعي لمنطقة الرؤية دعنا نأخذ في الاعتبار توزيع الطاقة في الطيف الشمسي، هذا التوزيع ليس ثابتاً على الإطلاق بالنسبة لمخلوق يعيش على سطح الأرض فهو يتغير تغيراً كبيراً تبعاً لمكان الشمس في السماء، وكلما تغير ارتفاع الشمس عن الأفق أو تغير سمك طبقة الجو التي تخترقها أشعة الشمس تلك الطبقة التي يختلف تشتتها وامتصاصها للأشعة باختلاف أطوال موجاتها، وقد ذكرنا ذلك من قبل في باب الشمس، ويبين (شكل 35) منحنيات توزيع الطاقة بدون خطوط فراونهوفر للضوء الشمسي: 1– خارج الغلاف الجوي، 2– عندما تكون الشمس فوق الرأس، 3– عندما تكون الشمس على ارتفاع 30 عن الأفق، 4– عندما تكون الظروف هي شروق أو غروب الشمس تقريبًا على ارتفاع 10 أعلى الأفق، والمنحنى الأعلى في

(شكل **54**) هو المتوسط السنوي لتوزيع الطاقة لشمس منتصف النهار، وبالطبع هذا المنحنى المتوسط هو الأكثر أهمية بالنسبة للعين.

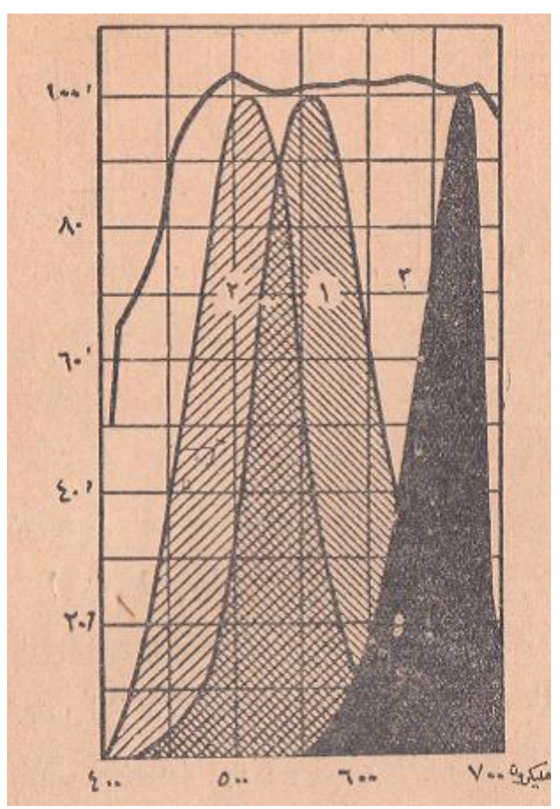
ونستنتج من هذا المنحنى أنه بالنسبة للشمس «المتوسطة» تكاد تكون الطاقة منتظمة التوزيع في المنطقة من **450** إلى **650**م **μ** ، ولكنها تنخفض انخفاضًا كبيرًا خارج هذين الحدين، وبعبارة أخرى منحنى الرؤية الذي يحيط بالمساحة المظللة (**1**) في شكل **54** موجود في أفضل جزء من منحنى التوزيع لضوء الشمس المتوسط*.



53: توزيع الطاقة في طيف الشمس عندما تكون الشمس على ارتفاعات مختلفة عن الأفق

إذا كانت المهمة الوحيدة للعين هي الإحساس بالطاقة الضوئية بطريقة اقتصادية بقدر الإمكان فإن أفضل حل للمشكلة يكون بالطبع الحساسية المنتظمة خلال الفترة بين **0,4**، **0,7** **μ** بأكملها.

ولكن ذلك يكون معالجة تقريبية ومبسطة للمشكلة، من الناحية البيولوجية، الأمر الأساسي ليس هو الحساسية المطلقة للعين لموجات الضوء هذه أو تلك، وإنما هو التمييز الأفضل بين الأشياء وبعضها البعض.



(شكل 54) منحنى التوزيع السنوي المتوسط للطاقة لشمس منتصف النهار في خطوط العرض المتوسطة (المنحنى العلوي)

1)منحنى قدرة الرؤية في النهار

2)منحنى قدرة الرؤية في الفجر

3)منحنى امتصاص الكلوروفيل

وبيولوجيا الرؤية لا تعني مجرد الحصول على إحساس بصري وإنما تعني القدرة على استيعاب تفاصيل الأجسام المحيطة، إن ضيق منحنى قابلية الرؤية وانخفاضه المفاجئ يضعف لدرجة كبيرة تأثير الزيغ اللوني مما يجعل الصورة على الشبكية أكثر تحديدًا، ويحدث نفس الشيء بالنسبة لموجات الضوء المختلفة الطول التي يختلف انعكاسها بالأجسام المختلفة، وزيادة على ذلك فمن المهم جدًا معرفة درجة التحديد في تفاوت لون ولمعان الأشياء المختلفة المحيطة بنا، لأن هذه الدرجة تزداد زيادة كبيرة نتيجة لوجود نهاية عظمى حادة لمنحنى قدرة الرؤية ولانحداره، لا ميله، نحو كل من نهايتي الطيف. وهذا بالدقة هو ما يفرق الأشياء المحيطة بعضها عن البعض الآخر بوضوح بالنسبة للعين.

ودعنا نعد الآن لما كنا بحثناه في باب الضوء لحلقات التداخل لنيوتن، وإذا كان علينا أن نقيس الطاقة المنعكسة من الزجاج المستوي ومن العدسة بواسطة جهاز حساسيته واحدة بالنسبة لجميع أطوال الموجات (الثيرموالمنت هو بالضبط هذا الجهاز) فيجب ألا نلاحظ حلقات نيوتن على الإطلاق* والسبب الوحيد الذي يجعل العين تشعر بهذه الحلقات بوضوح هو أن منحنى قدرة الرؤية ضيق وله نهاية عظمى حادة، وإذا كان هذا المنحنى متسعًا فإن عددًا كبيرًا من الأشياء المحيطة بنا تصبح غير مرئية.

ويجب أن نذكر أن منحنى قدرة الرؤية لضوء النهار يكاد ينطبق على منحنى توزيع الطاقة المتوسطة للضوء الشمسي الذي ينعكس ويتفرق

بالنباتات الخضراء، وهذه الحالة هي بالطبع حالة سعيدة جدًا للمخلوقات التي تعيش بين النباتات وتتغذى في الغالب عليها.

وعلى ذلك لدينا مثال لتكيف العين الناجح للظروف الحقيقية للحياة على الأرض وبرهان على العلامة الوثيقة الصحيحة بين العين والشمس.

فمع الإضاءات الضعيفة جدًا يتغير منحنى قدرة الرؤية تغييراً أساسيًا، والمنحنيات الموجودة على اليسار في شكل (52)، (54) هي منحنيات قدرة الرؤية للإضاءات الضعيفة، ويمكن ملاحظة أنها انتقلت انتقالًا محسوساً إلى المنطقة الزرقاء من الطيف، وذلك بالمقارنة بمنحنى الإضاءات اللامعة.

ويفسر علماء وظائف الأعضاء هذه الخاصية الغريبة للرؤية في الفجر، وكما يلي للشبكية كما سبق أن رأينا نوعان من العناصر الحساسة للضوء المخروطات والقضبان، في حالة الرؤية في ضوء النهار تقوم المخروطات بأغلب العمل ولكنها غير شديدة الحساسية، وتتوقف عن العمل عندما يصبح الضوء خافتًا، وعندئذ تبدأ القضبان التي لها منحنى قدرة رؤية مختلف في العمل، ومن وجهة النظر هذه يناظر المنحنى (1) في شكل (54) مخروطات «النهار» والمنحنى (2) قضبان «الليل».

وإذا كان منحنى قدرة الرؤية في النهار ينتج عن تكيف العين لضوء الشمس المشتت بالجو والنباتات... إلخ، فبالتالي يبدو أن منحنى «الليل يجب أن يكيف لسماء الليل» تتركب إزاءه سماء الليل (عندما لا يوجد قمر يشتت الضوء المباشر للشمس) من ضوء النجوم ومن تشتت لا نهائي في

الصغر لأشعة الشمس التي تخترق الجو بضعف حتى آخر الليل، ومن إضاءة السماء نفسها وهي تكون جزءاً هاماً من الضوء المرسل.

وترجع إضاءة السماء ذاتها إلى أن ذرات الأوكسجين والنيتروجين ترسل ضوءًا في الطبقات العليا من الجو، وطيف الإضاءة الليلية للسماء خطي ويحتوي على مستقيم أخضر لامع لمعاناً خاصاً طول موجته 558م μ ، تصل إضاءة السماء إلى نهايتها العظمى حوالي منتصف الليل، ومع ذلك فبالنسبة لتكييف منحنى قدرة الرؤية «الليلية» لسماء الليل توجد عدة صعوبات لم يتغلب عليها إلى الوقت الحاضر، فلا يزال عدد قياسات التوزيع الكلي للطاقة الضوئية الآتية من النجوم وتلك التي تأتي من السماء نفسها، لا يزال هذا العدد غير كافٍ، وتبعًا لتجارب ب. ب. فيوفيلوف التي أجريت في شتاء سنة 1941م، فإن التوزيع الكلي للطاقة لسماء الليل يكافئ طاقة جسم أسود درجة حرارته 4000 مئوية، أي اللون الأحمر وليس الأزرق كما كان متوقعاً، ولكن هذه القياسات لا يمكن اعتبارها عالمية، ويجب أن تعاد هذه القياسات وتتسع لبقع متعددة على سطح الأرض، وفي الفصول المختلفة من السنة، وإلى جانب ذلك يجب أن نؤكد مرة أخرى أن الأمر الأساسي بالنسبة للعين ليس هو الإحساس البصري في حد ذاته، بل إمكان التمييز بين الأجسام المحيطة، وهذا الأمر يصبح أكثر أهمية في ظروف الليل الصعبة أكثر منه خلال النهار، ولم تدرس هذه الأمور إلا دراسة قليلة حتى الآن، ولا يمكن اعتبار إزاحة منحنى قدرة الرؤية ليلًا نحو نهاية الموجة القصيرة من الطيف كصدفة بحتة،

إن تاريخ تطور الكائنات الحية بأكمله يقودنا لافتراض أن هذه الإزاحة تعمل على زيادة قدرة العين على التمييز في أثناء الليل.

وبخلاف العين التي مهمتها أن ترى فعلى فرع النبات أن يجمع الطاقة الضوئية لإحداث تغييرات كيمائية، وهذه الحقيقة تجد تعبيرًا في منحنى التوزيع الطيفي للحساسية الفوتوكيميائية للنباتات الخضراء. المساحة (3) في شكل (54) تمثل منحنى الامتصاص الرئيس للكلوروفيل، وهي المادة الخضراء في النبات، وبالمقارنة مع منحنى قدرة الرؤية في النهار، نجد أن النهاية العظمى لمنحنى الامتصاص مزاحة إزاحة حادة في اتجاه الموجات الطويلة، فما مدى صحة ذلك من وجهة النظر البيولوجية؟ لماذا تكون الموجات الطويلة مفيدة أكثر في هذه الحالة؟

دعنا نعد الآن إلى القانون الأساسي في الكيمياء الضوئية وهو القانون الذي بحثناه في باب الضوء، لقد رأينا أنه لإحداث تغير كيميائي في جزئ يجب أن يمتص كم واحد هـ v، وبالطبع طاقة هذا الكم يجب أن تتعدى نهاية صغرى معينة هـ v ضرورية لإحداث التحلل الكيميائي، وإلا فإن التفاعل لن يتم، وعلى ذلك فمن الواضح أن احتمال حدوث عمليات كيميائية تحت تأثير الأشعة تحت الحمراء هو احتمال ضعيف جدًا.

ومن ناحية أخرى يمكن أن يحدث التغير الكيميائي تحت تأثير أي من الكمات هـ v الممتصة، بشرط أن تكون طاقتها أكبر من هـ v. ، ولكن مهما كانت طاقة الكم كبيرة فإنه يمكن امتصاصها بجزئ واحد فقط وسيحدث نفس التأثير الذي يحدثه كم ذو طاقة منخفضة، ما دامت هذه الطاقة أكبر من هـ v. وعلى ذلك فمن وجهة نظر فوتوكيميائية تكون

أفضل الكمات للنبات هي تلك التي طاقتها أقل ما يمكن (ومع ذلك يجب أن تكون أكبر من هـ v) أو وهو نفس الشيء؛ الكمات ذات أكبر طول موجة يسمح به، إذا أخذنا في اعتبارنا الآن منحنى التوزيع المتوسط لضوء الشمس المبين في شكل 54 (المنحنى العلوي) فإنه يصبح واضحاً أن أفضل جزء من القطاع المنتظم بين 450–650م μ لوضع منحنى الكلوروفيل فيه هو المنطقة من 600–700م μ حيث هو موجود بالفعل.

وعندما يجب على المصور أن يزيح النهاية العظمى للحساسية الطيفية للوح من منطقة لأخرى يقوم بتلوين الطبقة الحساسة بصبغات عضوية مختلفة تسمى «الحساسات» ، وهو بذلك يحصل على طبقات فوتوغرافية تكون حساسة على الخصوص للأشعة الحمراء والصفراء والخضراء تبعًا لحاجته ويحدث نفس الشيء بالضبط كما رأينا في الطبيعة حيث يعمل اللون الأرجواني والكلوروفيل كحساسات.

وإن شكل منحنى قدرة الرؤية له أهمية كبيرة بالنسبة للهندسة الضوئية، فأغلب مصادر الضوء الصناعية تستخدم الإشعاعات الناتجة بالتسخين (الشموع، الكيروسين، المصابيح الكهربائية... إلخ) ولا يرى إلا جزء فقط من أشعة هذه الإشعاعات، أما الباقي فيفقد تماماً بالنسبة للعين، عندما تزداد درجة حرارة جسم أسود تنتقل أجزاء أكبر فأكبر من الطاقة المشعة من المنطقة تحت الحمراء إلى المنطقة المرئية ويصبح المصدر الضوئي أكثر كفاءة، ولكن هذه العملية لا تستمر بدون توقف فبارتفاع درجة الحرارة يمر أيضاً جزء من الطاقة المشعة إلى المنطقة فوق البنفسجية غير

المرئية، ونظرياً يمكن الوصول إلى درجات حرارة معينة ينتقل عندها جزء هائل من الطاقة المشعة إلى المنطقة غير المرئية لأشعة (س) فوق البنفسجية، وبالتالي فلا بد أن توجد درجة حرارة معينة للمعان مصادر الضوء وهي أفضل ما يمكن للعين، وما هو مقدار درجة الحرارة هذه؟

يبين جدول 3 النسبة المئوية للطاقة المشعة التي ترسل كضوء مرئي عند درجات الحرراة المختلفة.

جدول 3:

درجة الحرارة المطلقة	1500	2000	3000	4000	6000	8000	12000
النسبة المئوية للضوء المرئي من الطاقة المشعة	صفر	1,7	14,6	31,8	49,7	47,7	18,6

ويمكن ملاحظة أن أفضل درجة حرارة هي 6000، حيث تتحول نصف الطاقة المشعة إلى ضوء مرئي، ولكن هذه هي درجة حرارة الشمس، فما هي العلاقة بين إشعاعات الشمس وجسم أسود والعين؟ هل هذا التطابق الذي حصلنا عليها مجرد صدفة؟ بعد كل الذي تعلمناه عن الضوء والشمس والعين، وبعد أن أقنعنا أنفسنا أن العين تطورت كنتيجة لوجود

الشمس، وتطورت للشمس وتحت تأثير الشمس، بعد كل هذا يبدو أن هذا الارتباط هو أمر طبيعي وضروري.

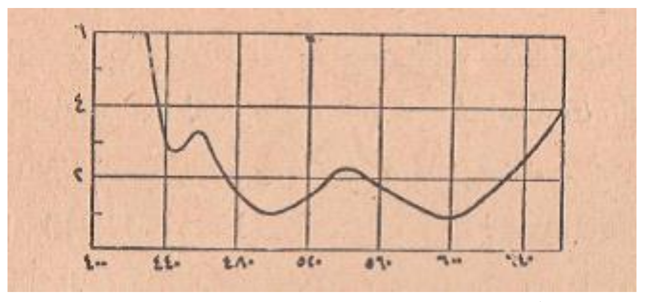
فكلًا من الشمس والجسم الأسود المشع تراهما نفس العين، ولكن العين،ماكينة للشمس وهذا هو السبب في أن التشابه بين طيف المصدر الصناعي وبين الطيف الشمسي هو أحسن حل للمسألة.

لأية درجة تستطيع العين أن ترى التركيب الطيفي للضوء؟ حتى الآن أقنعنا أنفسنا فقط بحقيقة أن العين لا تحس بأغلب مناطق الطيف على الإطلاق، بينما في المنطقة المرئية تبدو بعض الألوان للعين أكثر لمعاناً من الألوان الأخرى، وإذا جعلنا لمعان الضوء الأزرق مساوياً للمعان الضوء الأحمر تقريبًا فإننا نعلم أنه بالرغم من ذلك ستميز العين الأشعة عن بعضها البعض بدون خطأ، وعلى ذلك فإن العين لها إمكانيات أخرى، بخلاف مقدار الإحساس للشعور بالتركيب الطيفي للضوء، وتميز العين سبعة ألوان لقوس قزح في الطيف الشمسي، وكذلك عددًا كبيرًا من الألوان المخلوطة التي تختلف من مشاهد لآخر، ويصل عددها في بعض الأحيان إلى عدة مئات.

إن قدرة العين على تمييز الألوان يمكن التعبير عنها كما يأتي: نجري مقابلة بين جزأين متجاورين لطيف متصل ونجد عدد المليميكرونات التي يمكن أن تغير أحد الجزأين بها دون أن تلاحظ العين الفرق في اللون، أكبر فرق هذا في طول الموجة هو الذي يميز قدرة العين على التفرقة بين الألوان في هذا الجزء المعين من الطيف، ويبين (شكل 55) منحنى قدرة العين على التمييز والذي نحصل عليه بهذه الطريقة. والإحداثيات الأفقية هي أطوال

الموجات والرأسية هو أكبر فرق ممكن بين طولي الموجة الذي لا يمكن للعين أن تلاحظ معه أي تغيير في اللون، فالمنحنى معقد جداً من ناحية الشكل، ومع ذلك فهو يعطي بعض الأسباب للتقسيم الأساسي لطيف إلى ألوان قوس قزح.

جميع النهايات العظمى والصغرى لهذا المنحنى يمكن اعتبارها كأنواع من العلامات على الحدود بين ألوان قوس قزح، وعلى ذلك فالحد بين اللون البنفسجي والنيلج هو بالتقريب عند **445**م **μ**، وبين النيلج والأزرق عند **460**م **μ** وبين الأزرق والأخضر عند **500**م **μ** وبين الأخضر والأصفر عند **540**م **μ** وبين الأصفر والبرتقالي عند **600**م **μ** ولم تجر قياسات أخرى في المنطقة الحمراء حتى الآن.



(شكل **55**) منحنى قدرة العين على التمييز في الطيف

المخروطات فقط هي التي لها القدرة للتمييز بين الألوان، ففي الرؤية عند الشفق عندما تبدأ القضبان في العمل تختفي ألوان الطيف ويبدو كل شيء رمادي اللون، إن عدم وجود المخروطات في شبكية أعين البوم والخفافيش والسمك يؤدي إلى استنتاج أن هذه المخلوقات محرومة من الرؤية الملونة، ويبدو العالم لها كصورة بالأبيض والأسود، وللعين البشرية

جهازان مختلفان حساسان للضوء، وأحد هذين الجهازين يمكن تشبيهه بآلة تصوير تأخذ صورًا ملونة وحساسيتها ليست عالية، وتستخدم في أثناء النهار، والثاني ويستخدم عند الشفق أو في أثناء الليل ويأخذ صورًا سوداء وبيضاء عادية ولكنه شديد الحساسية.

ومع ذلك فإن حساسية العين لتمييز الألوان ليست ندًا للتحليل الطيفي، وإذا حللنا الضوء مكانا إلى أشعته البسيطة فإن العين تستطيع التمييز بين كل شعاع وغيره تمييزًا واضحًا بواسطة الفرق في اللون، ولكن العين يمكن خداعها بسهولة، أي لون نقي من ألوان الطيف يمكن الحصول عليه بخلط ثلاثة ألوان أخرى بسيطة، مثلًا الأحمر والأخضر والبنفسجي بنسب مختلفة، وهذا هو ما تبنى عليه أبسط طرق التصوير والسينما الملونين.

تؤخذ ثلاث لقطات للجسم الملون من خلال زجاج أحمر وأخضر وبنفسجي على الترتيب (مرشحات ضوئية) وتبدو الصور الثلاثة السالبة عادية تمامًا، وتستخدم في إنتاج طبقات فوتوغرافية على زجاج (ألواح فانوس سحري) والفرق بين هذه الألواح هو أن أحدها مكون في الغالبية العظمى بالأشعة الحمراء والثاني بالخضراء والثالث بالبنفسجية، وهذا هو سبب اختلاف المواضع المنيرة والمظلمة في الصور الثلاثة، وتصبغ ألواح الفانوس السحري هذه كل بنفس لون المرشح الذي أخذته خلاله، والآن إذا أحضرت ثلاثة فوانيس سحرية وضبطت بحيث تقع بؤرة كل منها على نفس البقعة من ستار ثم وضعت الألواح الملونة في هذه الفوانيس ستنطبق الصور الثلاثة، الحمراء والخضراء والبنفسجية على بعضها وتنتج الجسم

المصور على الستارة بجميع ألوانه الطبيعية، لأن الألوان الثلاثة ستنتج جميع الألوان الأخرى، فمثلًا إذا كان جزء من أجزاء الجسم أبيض اللون فمن الأشعة الآتية من هذا الجزء ستكون قد دخلت آلة التصوير خلال الثلاثة مرشحات جميعها وبالتالي فعندما تمتزج الألوان الأحمر والأخضر والبنفسجي فإنها ستضاف إلى بعضها البعض على هذا الجزء من الشاشة، وتعطي الإحساس باللون الأبيض، وإذا كان لون جزء من أجزاء الجسم أصفر فإن الأشعة من هذا الجزء تكون قد مرت خلال الزجاج الأحمر والأخضر ولكن ليس خلال الأزرق، ستكون هناك بقعة سوداء في الجزء المناظر من اللوح الأزرق وهذه البقعة لن ترسل ضوءًا، وكنتيجة لذلك سيسقط اللونان الأحمر والأخضر فقط على الستار ويعطيان للعين انطباع اللون الأصفر، وهكذا إن الطرق الفنية للتصوير الفوتوغرافي الملون الحديث معقدة أكثر بكثير من المثال الذي أعطيناه، ولكن الفكرة الأساسية في جميع الطرق المسماة «طرق الجمع» هي الفكرة التي أعطيناها* .

وعمومًا يمكن إنتاج أي لون من ألوان الطيف بتأليف ثلاثة ألوان بسيطة بنسب مختلفة، ولكن نفس الألوان الثلاثة عند مزجها يمكن أن تنتج ألوانًا لا توجد في الطيف، مثل الأبيض أو الأرجواني. إذا أضيف اللون الأبيض إلى لون بسيط، الأحمر مثلًا فإن اللون يبقى أحمر ولكنه يصير مخففًا أكثر فأكثر ويقل تركيزه، وبالتالي يمكن إنتاج عدد لا نهائي من الألوان الحمراء وذلك من اللون الأحمر البسيط وحده، ويكون مدى تركيز هذه الألوان واقعًا بين الأحمر البحت والأبيض البحت، وعلى العموم

توجد ثلاث صفات تميز أي لون للعين: اللمعان، الخلط والتركيز، وعلى ذلك فالألوان المختلفة التي يستطيع الإنسان أن يميز بينها أكبر بعدد لا نهائي من المرات من تلك الموجودة في الطيف المرئي. ومن وجهة النظر هذه تكون العين جهازًا كفاءته ضعيفة جدًا للتحليل الطيفي للضوء.

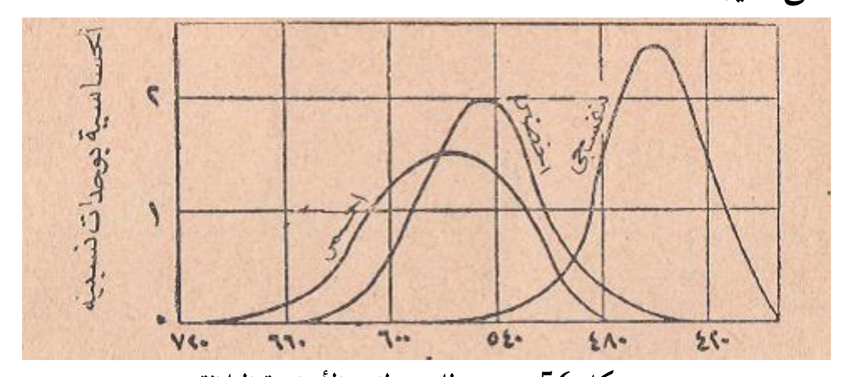
وفي الحروب تدهن المدافع والعربات... إلخ. بنفس لون الأرض والنباتات... إلخ . وذلك لإخفائها عن أعين العدو، وبالرغم من حقيقة أن الضوء الآتي من الجسم المراد إخفائه يختلف اختلافًا بينًا من ناحية التركيب الطيفي عن الضوء الآتي من الأجسام المحيطة به، فإن العين تخدع بسهولة ولا يستطيع إلا المطياف الكشف عن هذا الخداع، وفي دنيا الحيوان نجد أن تكييف لون الحيوان للون ما يحيط به، واسع الانتشار، فكثير من الحشرات لها نفس اللون الأخضر للأوراق والحشيش، وتغير الأرانب البرية فروها وهي بذلك تكيف نفسها في الشتاء للجليد وفي الصيف للون الأرض الأخضر... إلخ ... ومن الجدير بالذكر أنه في كثير من الأحيان يكون لون الحيوان هو نفسه لون ما يحيط به لا من ناحية البصر فحسب (أي بالنسبة للعين) وإنما أيضًا من ناحية التركيب الطيفي، وهذه الحماية التي تصل لحد الكمال تجعلنا نشك في أعين بعض الحيوانات المعادية للحيوانات التي تريد الاختفاء عن نظرها، هذه الأعين قد تكون متقدمة تقدمًا ما عن العين البشرية.

إن عدم كمال العين كمطياف هو أمر معقول جدًا، ولا يستطيع عالم الطبيعة أن يحلل الضوء المركب إلى ضوء بسيط إلا بتفرقة مركباته من الأشعة البسيطة مكانيًا، مستخدمًا في ذلك المناشير والأجهزة الأخرى*

ويمكن فهم التركيب الطيفي ولكن تقريبياً، دون الفصل المكاني للأشعة وذلك بالتأثير على مواد غريبة عن المناطق المختلفة للطيف.

فمثلًا تؤثر الأشعة الحمراء تأثيرًا ضعيفًا على الألواح الفوتوغرافية بينما تأثير الأشعة الزرقاء يكون أقوى من ذلك بكثير، ومن الغريب حقًا أن نعرف كيف يسبب كل لون بسيط رد فعله الخاص على العين بغض النظر عن الطاقة، وبالرغم من أن الأشعة غير مفصولة مكانيًا على الإطلاق، وفي حالة الأجهزة الصناعية يمكن دائمًا تقليد تأثير الأشعة ذات النوع الواحد بتأثير غيرها بضبط الطاقة ذلك بشرط أن يكون الطيف متصلًا.

وحتى الآن لا نعرف معرفة أكيدة كيف تحصل شبكية العين على هذه الدرجة العالية من الدقة، ومن المفروض وجود ثلاثة أنواع مختلفة من العناصر الحساسة للضوء في الشبكية، وكل من هذه العناصر له مداه الخاص الواسع من التنشيط (شكل 56) ، فمثلًا إذا سقط ضوء أحمر على العين



شكل 56: منحنى للتنشيطات الأساسية الثلاثة

فإن جميع العناصر الثلاثة تتأثر وذلك لأن جميعها تمتص الضوء الأحمر، ولو أن ذلك بدرجات متفاوتة. وتشعر العين بالفرق الذي يصاحب الإحساس باللون الأحمر، واللون الأخضر ينشط أيضًا والعناصر الثلاثة تتأثر ولكن بنسب مختلفة عما يناظرها في حالة اللون الأحمر وهكذا.

والإحساس بالتنشيط الكلي في العناصر الثلاثة يناظر شدة إضاءة الضوء الساقط بينما النشاط النسبي في العناصر الثلاثة يعطي إحساس الخلط، فإذا ترك عنصر واحد فقط فإن التنشيط النسبي يكون لا محل له، ولن يوجد إحساس بالخلط بالرغم من أن انطباع شدة الإضاءة يبقى كما هو، وتفسر هذه النظرية تفسيرًا جيدًا احتمال إنتاج أي لون يجمع الثلاثة الألوان الأخرى، وهي حالات عمى الألوان (الدالتوانية ...إلخ) وعندما تفقد العين إحساس الخلط في أجزاء معينة من الطيف... إلخ . ولكن حتى الآن لا يوجد تأييد كامل لهذه النظرية في علم التشريح.

إن الشعور باللون يزيد الإحساس البصري زيادة كبيرة فتمكننا الرؤية الملونة من التمييز بين الأشياء بسرعة كبيرة وبطريقة أصلية، نفرض أنه لم يكن هناك إحساس باللون وأنه كان علينا أن نميز الأشياء الواحد عن الآخر كما نفعل في حالة الصور الفوتوغرافية العادية، أي فقط بواسطة كمية الضوء المشتتة في مثل هذه الحالات، فلا يمكن التمييز بين أي سطحين متساويين فوتومتريا بالرغم من كون لونيهما مختلفين، أصفر وأخضر مثلًا، وتصبح صورة العالم المحيط بنا على الفور فقيرة جدًا في التفاصيل، وإلى جانب ذلك نحن نشعر بالفروق في الألوان فورًا بينما نحتاج

لوقت طويل وربما لقياسات كمية لتحقيق الفروق الصغيرة في شدة الإضاءة، (ويكون ذلك بدرجة أكبر إذا كانت الأشياء المقارنة بعيدة عن بعضها البعض) هذا فضلًا عن الإحساس بالجمال في حد ذاته من رؤية الألوان.

نظرًا لهذه المميزات الكبيرة للإحساس بالألوان فقد وجد أنه من المفيد نقل صفة اللون إلى مجالات يبدو ألا وجود لها (أي لصفة اللون) فيها بواقع طبيعتها، مثلًا عند دراسة الأشياء المضاءة بالأشعة فوق البنفسجية أو تحت الحمراء غير المرئية، ومع ذلك فهذا ممكن تمامًا كما برهن على ذلك أ. م. برومبرج في دراساته المجهرية.

افرض أن المطلوب أخذ صورة ميكروفوتوغرافية لمستحضر معين في الضوء فوق البنفسجي نأخذ ثلاث صور بثلاثة أطوال موجات ونحتاط بحيث نجعل الصور جميعها بمقياس رسم واحد، والصور المنتجة في الثلاثة أطوال موجات فوق البنفسجية ستكون في الحالة العامة مختلفة، وذلك لأن الموجات ذات الأطوال المختلفة يكون امتصاصها للضوء مختلفًا، والآن نجري على هذه الصور الثلاثة السوداء نفس ما أجريناه في حالة التصوير الملون، نسقط هذه الصور من خلال ألواح زجاجية مختلفة الألوان، مثلا حمراء وخضراء وبنفسجية على ستار واحد، بحيث تنطبق الصور على بعضها البعض، بهذه الطريقة نحصل على لقطة ملونة لجسم مصور في ضوء غير مرئي، وبالطبع تكون الصورة صناعية (غير طبيعية) في هذه الحالة، ويمكن استخدام ألواح زجاجية متعددة الألوان للحصول على صورة ملونة مختلفة، وتعطينا مثل هذه الصور الصناعية لأشياء مصورة في ضوء غير

مرئي كثيرًا من الميزات العملية فهي تجعل من الممكن اكتشاف تفصيلات الشيء بسرعة، الأمر الذي قد يتعذر ملاحظته بدونها، كما تمكننا أيضًا من إجراء تحليلات كيميائية كيفية.

وبالطبع يمكن استخدام هذه الطريقة أيضًا في جميع الفروع الأخرى التي تستخدم التصوير والضوء غير المرئي، وباستخدامها يقوم العالم الذي يجري التجربة بعمل نسخة من الطبيعة التي توجد فيها بالفعل هذه الطريقة العجيبة للإحساس البصري، ولقد وصلنا الآن إلى نهاية رحلتنا الملتوية نوعًا في مختلف فروع المعرفة، بالاستعانة بصفة رئيسة بالطبيعة والفلك وبالبيولوجيا، وصلنا في النهاية إلى فهم لطبيعة العلاقة الوثيقة التي لا شك فيها والتي تربط بين العين والشمس.

وهذا الارتباط يكاد يكون هو نفسه الارتباط بين آلة التصوير ومصدر الضوء الذي تؤخذ فيه الصورة. وبالطبع، في أغلب الأحيان لا نقوم بتصوير المصدر الضوئي وإنما جسم مضاء به، ومع ذلك فإن الجسم لا يمكن تصويره إلا لأنه يشتت الأشعة الآتية من المصدر، وبالتالي فإن آلة التصوير يجب أن تكيف لهذه الأشعة، فعدستها الشيئية يجب أن تكون نفاذة لهذه الأشعة وبالتالي تنتج صورة صحيحة، واللوح الفوتوغرافي يجب أن يكون حساسًا حساسية كافية في المنطقة الصحيحة من الطيف، ويجب أن يكون لآلة التصوير فتحة يمكن تغييرها لكي تتلاءم مع ظروف الإضاءة المختلفة، ويجب استخدام ألواح ذات حساسية مختلفة تبعًا لشدة الإضاءة، وجميع هذه الخواص موجودة في العين التي كيفت نفسها كمصدر للضوء...

العدسة البلورية للعين لا ترسل للشبكية إلا الأشعة الشمسية التي لاتضر أعضاءها، والتي تنتج صورة جيدة لأطوال الموجات الشمسية، وشبكية العين حساسة للغاية ولكن هذه الحساسية تقل عندما يأخذ ضوء النهار في الاختفاء ثم تزداد ثانية في الليل، وللعين فتحة يتغير اتساعها أوتوماتيكيًا لمدى واسع (ويتوقف ذلك على الإضاءة) وتنطبق الحساسية الطيفية للعين على النهاية العظمى لمنحنى الطاقة الطيفية للشمس[*] وكل هذا نتيجة لتكييف العين للضوء الشمسي على الأرض.

ولا يمكن فهم العين إذا كنا نجهل ما هية الشمس، ومن ناحية أخرى فإن الخواص الشمسية يمكن أن تخدم كأساس لتحديد الصفات الغريبة للعين نظريًا، وذلك دون أن نكون على علم بها من قبل.

وهذا هو السبب الذي من أجله تكون العين من الشمس وللشمس كما يقول الشاعر.

الفهرس

- مقدمة 5
- الضوء 23
- الشمس 71
- العين 113